

《航空重力测量技术规范》（报批稿）

编制说明

中国自然资源航空物探遥感中心

二〇二〇年七月

目 录

1. 工作简况.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 编写单位.....	1
1.3 标准主要编写人.....	1
1.4 主要工作过程.....	2
2. 规范编制原则	5
2.1 规范格式采用的原则.....	5
2.2 规范编制遵循的原则.....	5
3. 主要技术内容确定的依据.....	6
3.1 技术内容参照的现行标准.....	6
3.2 规范技术指标确定的技术资料.....	7
3.3 重大分歧意见的处理经过和依据.....	22
4. 标准的特点	23
5. 采用国际标准	23
6. 与现行法律、法规和标准的关系.....	24
7. 标准作为强制性或推荐性标准的意见.....	24
8. 贯彻标准的要求和措施建议.....	24
9. 废止现行有关标准的建议.....	25
10. 其他应予说明的事项.....	25
11. 鸣谢	25

1. 工作简况

1.1 任务来源

航空重力测量是基础地质研究、油气资源调查、矿产资源勘查等领域的先进勘查技术手段，是近年发展起来的现代化调查方法。除地质效果可与地面重力、海洋重力相媲美外，与地面重力及其它的地球物理方法相比，航空重力测量是一种简便、快速、经济和绿色的勘查方法；不受地形起伏的影响，不受测区条件的限制，尤其是在海陆交互区、无人区、生态保护区等区域能够发挥难以替代的作用；同时还可以进行三维空间测量，不受假频的影响。航空重力测量具有广阔的应用前景。

我国用于资源勘查的航空重力测量始于 2006 年，至今完成 80 多万 km 的航空重力/重磁测量，积累了大量的测量经验，技术方法不断的完善，具备了陆海域进行大面积航空重力测量的能力。但至今还没有一个行业规范来指导航空重力测量，需制定航空重力测量技术规范，规范我国资源矿产勘查中的航空重力测量，服务于自然资源部尤其是中国地质调查局的中心工作，促进航空重力测量在地质行业推广和应用，提高我国航空重力调查技术水平和能力。为此，中国地质调查局设立“航空重力测量技术规范”子项目，研究制定航空重力测量技术规范。

“航空重力测量技术规范”为中国地质调查局“地质矿产调查战略与规划支撑工程”所属项目“地质调查标准修订与升级推广项目”的子项目，项目编号为 12120115054801，承担单位为中国自然资源航空物探遥感中心（简称航遥中心），研制起止时间：2015 年 1 月-2016 年 12 月。项目实施单位为中国地科院地球物理地球化学勘查研究所，项目负责人为袁桂琴教授级高级工程师。

本项目按照中国地质调查局项目管理要求，于 2017 年 6 月 15 日通过了由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所组织的评审，评为“优秀”级。

本标准已列入自然资源部“部年度标准制修订工作计划”，计划编号：2018024。

1.2 编写单位

标准编写单位为中国自然资源航空物探遥感中心。

1.3 标准主要编写人

编写组由长期从事航空重力测量技术及标准化工作的专家、中青年技术骨干组成。规范主要编写人：周锡华、郭志宏、熊盛青、姜作喜、刘英会、屈进红、李冰、罗锋、王蓬、邓肖丹、乔扬、段乐颖等，

周锡华负责规范的总体设计、总体统稿和主要编制；郭志宏、罗锋主要负责数据处理与图件编制部分的编写工作；熊盛青主要负责总体协调和总体设计；姜作喜主要负责技术设计部分的编写；刘英会主要负责资料推断解释和成果编写部

分的编写；屈进红、李冰主要负责测量飞行与野外工作部分的编写；姜作喜、屈进红、李冰、王蓬、乔扬负责资料收集、数据整理和应用试验等工作；邓肖丹、段乐颖主要负责格式编排、资料整理和校对。

1.4 主要工作过程

1.4.1 标准立项阶段

1. 2014年12月，航空重力测量技术规范编制开始立项工作，航遥中心组织从事航空重力测量工作的专家成立了标准编写组，负责标准的编写工作。

2. 2015年1-4月，调研和总结了国内外最新航空重力测量的方法技术，收集相关标准资料及文献调研83份。

3. 2015年5月，完成了规范编制项目的总体设计。并于当年6月，编写组召开了规范编制启动会议，初步确定了标准的研制原则和讨论了标准的初步框架、结构，并组织内部专家对框架进行修改和完善，指定专人主笔编写标准讨论稿。

1.4.2 标准初稿编写阶段

1. 2015年8月，编写出航空重力测量技术规范，并形成初稿。

2. 2015年10月，完成了航空重力测量技术规范初稿的内部专家征求意见，并对规范进行了修改

3. 2015年12月，编写出航空重力测量技术规范讨论稿，编写组召开研讨会，对讨论稿进行了讨论修改，修订后编写出征求意见稿第1稿。

4. 2016年1-7月，编写组成员继续对征求意见稿第1稿分头进行修改，同时调研了安徽省勘查技术院、总参海洋测绘研究所、中国人民解放军国防科学技术大学等单位，召开专家咨询研讨会3次，业务调研共计34人次。

5. 2016年8月，编写组再次集中召开全体小组会议，对征求意见稿第1稿进行讨论修改，逐条逐句的审议讨论，形成基本一致意见后形成征求意见稿第2稿。

1.4.3 征求意见稿阶段

1. 2016年8-9月，编写组发放征求意见稿纸介质22份、电子邮件31份，共计发放征询意见稿53份，回函或回复51份。发放的单位主要为：中国地质调查局2份，地科院物化探研究所2份，天津地质调查中心1份，沈阳地质调查中心1份，武汉地质调查中心1份，西安地质调查中心1份，地矿局发展研究中心2份，中国地质大学5份，国防科学技术大学5份，海军测绘所5份，安徽勘查技术院6份，航空物探遥感中心22份。他们分别是国内从事航空重力测量、地面重力测量和海洋重力测量的一线工作人员，或者是从事重力测量研究、管理工作的专家。

2. 2016年9-11月，收到征求意见专家36人次，修改建议193条，目前修改了164条，29条没进行修改。修改意见覆盖到术语、方法技术、参数设置、

专业发展等方面。

3. 2016年8-11月，开展技术规范征求意见第2稿的应用试验，并根据试验结果对相关内容进行修改和完善。

4. 2016年12月-2017年5月，根据年终总结的专家意见，编写组成员认真研究，对规范各章节进行了修改和完善，形成了《航空重力测量技术规范》（送审稿）、《编制说明》及《意见汇总处理表》。

1.4.4 标准送审阶段

2017年6月15日，中国地质科学院地球物理化学勘查研究所在西安组织专家对《航空重力测量技术规范》（送审稿）进行评审，参加的专家有中国地质调查局西安地调中心刘宽厚（组长）教授级高工、长安大学王万银教授、西安测绘研究所王兴涛研究员、西安科技大学张耀民教授、国测一大队李祎峰教授和陕西国土测绘工程院罗显元高工，还有项目负责人袁桂琴教授级高工。

专家组认为：规范内容全面，结构合理，可满足现阶段航空重力测量工作需要，对指导我国航空重力测量工作具有重要意义。专家组一致同意通过评审，评定等级为优秀。

2017年7月，编写组根据专家的意见和建设，对标准广文本进行了勘误，修改了个别表述，形成了用于报批《航空重力测量技术规范》（送审稿）。

1.4.5 标准报批阶段

2. 2018年9月12日，全国国土资源标准化技术委员会地质勘查技术方法分技术委员会组织部分委员和有关专家在北京铁道大厦召开标准审查会，对《航空重力测量技术规范》行业标准（送审稿）进行了审查。肖桂义、黄照强、陈国胜、夏响华、白冶、施兴、向运川、黄金明等专家莅会，专家们认为：

标准编写组广泛收集了国内外航空重力测量技术有关研究成果和相关标准，合理确定了标准的整体结构。邀请行业内的专家，经过了初稿、讨论稿及征求意见等多次讨论修改，形成标准送审稿，并通过了立项部门的组织审查，工作基础扎实，过程严谨细致。

标准编写组由国内行业和标准化相关专家组成，具有权威性和代表性。标准按照GB/T 1.1的规则及国土资源标准化管理的有关规定编写了标准文本及相关附件，提交的审查材料齐全，格式规范。

认真分析了国内外航空重力测量相关资料，结合我国航空重力测量的实际情况，借鉴了勘查地球物理相关标准的部分内容，提出了航空重力测量主要技术指标，体现标准的先进性。

编写组在广泛征求相关单位和专家意见基础上，确定的技术指标和有关要求依据充分，科学合理，符合我国自然资源行业现阶段技术应用需求，有利于提高航空重力调查工作质量和规范性水平。

专家组一致同意通过审查，建议根据专家组提出的意见修改完善，尽快报批。针对本次审查专家提出了一些具体修改意见和疑问，标准编写组再次研究了

标准中的应用范围、术语和文字表达等内容，并逐一对所提意见进行了修改，于2019年2月形成了《航空重力测量技术规范》（报批稿），同时在编制说明中详细做了说明性解释。

主要修改的内容为：前言部分内容；1.范围部分内容；4.1应用范围；4.4基本要求；5.4.3.1比例尺选择依据；7.7.5检查工作量；7.9质量检查内容；10.9成果报告具体化。还按要求对“编制说明”和“征求意见中未采纳原因的说明”做了认真修改。

通过本次审查和修改，使《航空重力测量技术规范》格式更加规范，内容更加合理，达到了报批的要求。

2. 规范编制原则

规范编制过程中，主要遵循技术标准编制的五项基本原则；同时，还把握了相关具体编制原则。

2.1 规范格式采用的原则

本规范的格式、内容及描述方法参照了 GB/T 1.1-2009《标准化工作导则—第 1 部分：标准的结构和编写》，并按照该标准的要求进行编制。

2.2 规范编制遵循的原则

规范编制遵循了技术标准编制的五项基本原则，即：统一性原则、协调性原则、适用性原则、一致性原则和规范性原则

1. 新编制的《航空重力测量技术规范》适用范围主要是基础地质研究、油气资源调查、矿产资源勘查等领域，该规范将成为促进航空重力测量技术进步、提高生产效率、保证测量质量、保障安全和生态环境的指导性文件与操作技术指南，成为规范航空重力测量技术、实施科学管理的重要依据。在自然资源部授权和颁布实施后，该规范将具有一定的技术法规性质。

2. 该规范应符合国家和自然资源部有关标准化工作的法律、法规和方针政策。力求技术上先进适用，经济上相对合理，有利于促进航空重力测量技术进步、技术创新及技术成果产业化应用，满足基础地质研究、资源勘查和地球科学系统探索的需要，合理利用和保护战略性矿产资源与新型清洁能源，提高资源勘查的社会效益、经济效益和环境效益。

3. 以国内外最新的航空重力测量技术要求为基础，密切结合国内外航空重力设计、开发和制造的相关技术，并与航空重力、地面重力和海洋重力使用单位密切沟通和交流，确保规范的先进性和权威性。

4. 准确把握我国国情、航空重力生产现状与体现技术进步的关系，在技术和应用层面应具有一定的前瞻性，同时又具有使用的可操作性和技术的合理性。跟踪航空重力技术发展，及时将航空重力最新技术成果吸纳到规范里，积极促进航空重力新技术、新方法和新产品的推广应用。

5. 该规范在内容上要注意与其他航空重力技术标准（规程）的协调和匹配，编写形式、表达方式和相关技术内容力求与国内相关标准的协调统一，要有利于构建和完善科学合理的资源勘查型重力技术标准体系。

6. 积极开展与国际航空重力技术和标准化交流，调查、收集和分析研究国外航空重力技术标准、测量技术要求和作业指导文件，积极借鉴和采用国际标准、国外先进标准与先进的技术要求，编制的航空重力测量技术规范要与国际并轨，达到目前国际先进水平。

7. 编制过程应大量收集国内外航空重力测量的实测数据和技术性资料，经过分析与提炼作为本规范编制的主要技术依据，确保编制的规范具有可操作性和

实用性。同时，力求程序上公开透明，技术上百家争鸣，加强与各地勘行业、测绘行业的交流与合作，充分吸收航空重力、地面重力、海洋重力和大地测量等从事重力测量工作的先进技术和合理做法，鼓励多层次、多方式参与规范制定的工作，积聚各行业的先进技术，促进重力测量行业的全面发展。

3. 主要技术内容确定的依据

规范技术的指标主要来源于 4 个部分，包括：①目前现行的国家或行业规范标准；②国内外航空重力测量报告和相关文献资料等；③当前生产作业实测技术指标；④理论计算和研发成果。

3.1 技术内容参照的现行标准

本规范所涉及到的技术内容参照了以下标准：

(1) 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0142-2010《航空磁测技术规范》；

(2) 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0004-2015《重力调查技术规定（1: 50000）》；

(3) 中华人民共和国国家军用标准 GJB 6561-2008《航空重力测量作业规范》；

(4) 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0082-93《区域重力调查规范》；

(5) 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0171-1997《大比例尺重力勘查规范》；

(6) 中华人民共和国国家标准 GB/T 18314-2009《全球定位系统（GPS）测量规范》；

(7) 中华人民共和国国家军用标准 GJB 890A-2008《海洋重力测量规范》。

规范编制格式主要参考了《航空磁测技术规范》，基本上引用了该规范的编写格式，测量飞行高度评价、导航精度评价、定位精度评价等重要章节引用了《航空磁测技术规范》中的内容。

考虑到航空重力地形改正和布格改正与地面重力的改正方法基本一致，因此在地形改正和布格改正指标制定时，主要参考了《大比例尺重力勘查规范》、《重力调查技术规定（1: 50000）》和《区域重力调查规范》，同时，航空重力仪静态零漂测试与评价方法、地面重力基点建设也参照了地面重力等现有规范中的内容。

GNSS 基站布设与引点、主要要求和技术参数的设置主要参考了《全球定位系统（GPS）测量规范》。

航空重力设备安装、测试和一些技术方法参考了《航空重力测量作业规范》《海洋重力测量规范》等部分内容。

3.2 规范技术指标确定的技术资料

规范技术指标的确定主要依据于：①长期实践经验的总结；②科学研究及试验成果；③借鉴国外有关经验及研究成果；④以上三点的分析、比较和综合。

3.2.1 规范编制参照的主要技术资料

通过网络、e-mail 和现场咨询等方式，收集有关航空重力测量技术报告、文献资料和方法技术研究论文等相关资料 83 份。对这些资料进行了分析和研究，归纳和总结出各种技术方法和指标参数，为规范制定提供了重要依据。规范编制参照的主要技术资料详见表 3-1，其它技术资料详见参考文献。

表 3-1 规范编制参考的主要技术资料一览表

序号	资料名称	提供单位/个人
1	AIRBORNE GT-1A GRAVITY SURVEY for UTS Geophysics ACQUISITION AND PROCESSING REPORT	Airborne Petroleum Geophysics
2	Airborne Gravity Survey Quesnellia Region, British Columbia	Geoscience British Columbia Society /Sander Geophysics
3	Heli-grav GT-1A/2A Drape Profile Example	Airborne Petroleum Geophysics
4	Airborne Gravity Survey QUEST South, British Columbia	Geoscience British Columbia Society /Sander Geophysics
5	Report of of the Gravity Survey for TIMMINS NORTHEAST, NORTHWEST AND SOUTH airborne gravity surveys.	geophysics Data set 1051.
6	Ontario Airborne Geophysical surveys Gravity Data	Ontario Geological Survey/Sander Geophysics
7	GRAV-D Field Operations Handbook (for TAGS system)	Youngman Published by NOAA's National Geodetic Survey
8	Detailed helicopter-borne gravity	Aerogeophysica Inc. Moscow, Russia
9	Advances in SGL AIRGrav acquisition and Processing	Luise Sander and Stephen Ferguson
10	Research on the Methods of Acceleration Estimation Based on Difference between Satellites	Liu P, Zhang K, Wu M
11	Spatial Resolution of Mobile Gravity Surveys	D. Olson P. Eng., P. Geoph
12	重力勘探中高度改正的几个问题	刘养源/物探与化探,
13	重力勘探地形改正最大半径的选择	孙刚/煤田地质与勘探
14	重力广义地形改正值和均衡改正值的一种计算方法	雷受旻/海洋地质与第四纪地质
15	重力勘探中布格改正公式的探讨[J].	杨再朝/西南石油大学学报
16	北美国家高程基准面及重力异常计算方法的重大修改	曾华霖/中国地质大学
17	布格改正和地形改正的误差_关于区域重力测量中地形改正最大半径的讨论	杨学祥/长春地质学院
18	高精度重力地形改正的简化方法	扬子江
19	区域重力调查野外工作细则	中国地质调查局

20	基于 DEM 条件下对中区地改精度的计算方法	张国利, 赵更新等/天津地质调查中心
21	几种区域重力地形改正方法的讨论	林振民, 史振松/地矿部物化探研究所和第二综合物探大队
22	区域重力测量地形改正方法	刘文锦, 奚家鉴等/地质矿产部物探所
23	区域重力测量外部改正的几个问题	吕梓令, 周国藩
24	两种新的长方体重力异常正演表达式及其理论推导	骆遥/工程地球物理学, 第 5 卷第 2 期, 2008 年 4 月
25	航空重力重复线测试数据质量评价方法研究	郭志宏, 熊盛青等/地球物理学报
26	航空重力测量内符合精度计算方法	姜作喜, 张虹, 郭志宏/物探与化探, 2010, 34(5):672-676.
27	航空重力勘探理论方法及应用	熊盛青, 周锡华, 郭志宏等/中国地质出版社

3.2.2 规范技术指标参考的国内实际技术指标

收集了国内所有资源型航空重力测量的实测指标。到目前为止,我国开展的资源型航空重力测量共 11 测区,测线工作量为 72.45 万 km,所有测区归纳后实测指标如表 3-2 所示。通过分析总结 10 年来国内航空重力测量各项技术指标,以此技术指标为重要依据,制定了符合国内航空重力测量技术指标。

表 3-2 国内航空重力调查各技术参数汇总表

参数	分类	实达指标
飞机类型	固定翼	CESSNA208, Y-12 等
	直升机	AS-350 B3 为主
飞行高度	平飞	飞行高度±10m 以内占 75%; 飞行高度±20m 以内占 85%
	起伏飞行	沿地形缓起伏飞行,一般真高 200m
平均飞行速度	固定翼	220-225km/h
	直升机	116km/h
动态精度	最大值	$0.921 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	最小值	$0.445 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	大多数	$\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
架次零漂	最大值	$\pm 5.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	最小值	接近 $0. \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	大多数	$\leq \pm 2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
原始总精度	最大值	$\pm 2.23 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	最小值	$\pm 1.24 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	大多数	$\leq \pm 1.6 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
最终总精度	最大值	$\pm 1.04 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	最小值	$\pm 0.4 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
	大多数	$\leq \pm 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$

3.2.3 规范技术指标参考的国外常用技术指标

收集了国外 2 家最主要的从事航空重力测量公司所采用的技术指标（表 3-4-3），一是代表 AIRGrav 航空重力测量系统的加拿大 SGL 公司，另一个是代表 GT-1/2A 航空重力测量系统的澳大利亚 CMG 公司，他们工作量占据目前世界上的 80% 以上，为最先进的、主流的航空重力测量系统。表 3-3 中的技术指标分别代表着 2 套测量系统目前的技术水平，成为本次规范制定的重要参考依据，确保规范制定的技术指标与目前国际先进水平一致。

表 3-3 国外航空重力调查各技术参数汇总表

参 数		SGL 公司 (AIRGrav)	CMG 公司 (GT-1/2A)
测量精度 (测线与控制 线交叉点的残 差均方差)	所有测线	$\leq 0.7 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ (RMS) (0 阶水平调整后)	$\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ (RMS) (1 阶水平调整后)
	单架次	$\leq 1.25 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ (RMS) (0 阶水平调整后)	$\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ (RMS) (1 阶水平调整后)
定位误差	X、Y、Z 精度 (差分后)	均 $\leq \pm 5 \text{m}$	均 $\leq \pm 10 \text{cm}$
测线偏航距	所有测线偏航 超过 100m	连续长度 $< 4\text{km}$	连续长度 $< 5\text{km}$
飞行高度	与设计高度	与设计高度偏差 $> 15\text{m}$ 的 连续长度 $< 7\text{km}$	(设计高度 $\pm 10\text{m}$) 之内占 80% 以上 (平飞)
	离地垂直高度	采用沿起伏飞行, 飞行高度 一般为 200m (真高)	300m~600m (平飞), 离最 高障碍物不小于 200m。
GPS 卫星数		共用星数 ≥ 4 颗	星数 ≥ 6 颗
测量比例尺		1:5 万~1:20 万	1:5 万~1:20 万
控制线		控制线垂直于测线, 其线 距一般为测线线距的 10 倍	控制线垂直于测线, 其线距 一般为测线线距的 10 倍。
飞行速度		固定翼: 160~220km/h 直升机: 50~160km/h	固定翼: 160~220km/h 直升机: 50~160km/h

3.2.4 部分技术指标来源于进一步的研究总结

在规范制定时，航空重力测量中仍然存在一些难点问题或分歧意见比较大方法技术和参数设定，在此针对这些问题进行了针对性的研究。

1. 航空重力缓起伏飞行能力及技术要求

一是理论上建立了航空重力测量时飞行高度轨迹的数学模型，二是归纳目前所获得的大量平飞和起伏飞行的测试结果，并结合国外同行的飞行经验和理论分析，得到以下结论：①最好采用同一高度平飞的方法，测量精度最好；②可采用缓起伏飞行，采用坡度不超过 3.0° （爬升率约 1/20）；③宜长周期、少起伏。

2. 航空重力飞行速度确定分析

分析了直升机航空重力采用不同速度平飞的重复线测量结果，可以显著地看出：飞行速度小时，航空重力反映的异常更细腻，航空重力异常空间分辨率高；反之，飞行速度较大时，航空重力反映的异常相对来说变得宽缓，空间分辨率变低。即空间分辨率=（飞行速度×滤波窗口）/2，要保持好的航空重力空间分辨率，降低飞行速度是十分必要的，因此，制定航空重力飞行速度的原则是尽可能采用飞机所允许的最低安全速度，同时兼顾飞行时的平衡性。

3. 航空重力 GNSS 基线长度影响分析

对某测区内几个架次数据，分别采用 GNSS 长基线（距离测区 100km）和短基线（测区内）对数据进行解算处理，从处理结果可以看出：当 PDOP<2.5 时，短基线与长基线处理的异常结果基本相同；但当 PDOP>2.5 时，短基线处理结果要优于长基线处理结果。由此可得出：地面 GNSS 基站架设应尽量架设在测区中间，以采用尽可能短的基线进行测量，提高航空重力测量精度。

同时分析研究了不同测区不同 GNSS 基线长度的航空重力测量精度，这些测区的 GNSS 基线长度最大达到 500 多 km。通过对比不同 GNSS 基线长度的航空重力测量精度，得到规范中要求的“基线长度应控制 200km 之内，不宜超过 500km；采用更长基线测量时，应通过试验来验证长基线能否满足航空重力测量精度的要求”。

4. 不同滤波长度数据处理研究

利用 GT 航空重力的测量数据采用不同长度滤波进行分析，比较不同滤波长度下异常的反映效果，为制定数据处理滤波长度提供依据。除采用正常的 100s 滤波以外，另外采用了滤波长度 80s 和 120s 两种滤波方式对同一测线多次往返重复测量和面积性试验区的航空重力数据进行处理。对比得出：①当滤波长度小时，反映的异常细节多些，空间分辨率较好，但噪声异常同样也多；反之，当滤波长度大时，反映的异常细节少些，空间分辨率较差，但噪声异常同样也少。②当滤波长度小时，提高了重力异常的空间分辨率，但重复线内符合精度较差；反之，当滤波长度大时，降低了重力异常的空间分辨率重复线，但内符合精度较好。

图 3-1 表示了航空重力测量精度（RMS）与数据处理滤波长度之间的关系。当滤波长度增大时，噪声水平快速下降，测量精度快速提高；同时从图中也可看出测量精度与空间分辨率的关系。

对于某一航空重力测量系统来说，在不考虑 GNSS 精度、气流影响情况下，通常：滤波长度（异常空间分辨率）×测量精度 ≈ 常数。合理地设计测量精度和空间分辨率主要取决于测量的目标体的大小和与围岩的密度差。

因此，航空重力滤波长度的选择，既要考虑异常空间分辨率，又要兼顾测量精度。滤波长度小时，重力异常空间分辨率好，但测量精度变差，扰动噪声增多，不利用于重力异常的反映；滤波长度大时，测量精度变好，扰动噪声减少，但重力异常空间分辨率变差，不利用于弱小重力异常的反映。

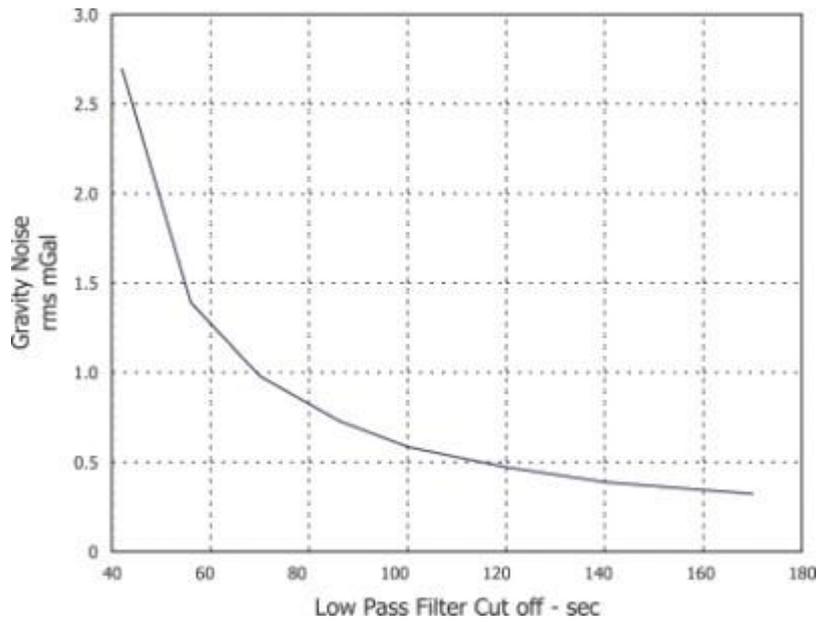


图 3-1 航空重力测量精度与滤波截止频率（滤波长度）关系图
（来自于 AIRGrav）

总之，测量精度、异常空间分辨率不仅取决于航空重力低通滤波长度，还取决于飞行速度和测量线距。表 3-4 为 AIRGrav 典型的航空重力测量参数。在保持测量精度不变的前提下，提高航空重力异常空间分辨率的唯一办法是降低飞行速度。在采用低飞行速度时，还要通过缩小测量线距来提高横向空间分辨率。

表 3-4 AIRGrav 典型的航空重力测量参数

精度 RMS ($\times 10^{-5} \text{m/s}^2$)	半滤长分 辨率 (m)	滤波长 度 (s)	飞机 类型	飞行速度		线距 (m)	生产效率 (km^2/day)
				(kt)	(km/h)		
0.2	4,000	130	固定翼	120	222.24	1000	500
0.2	2,200	90	固定翼	95	175.94	300	150
0.2	1,100	86	直升机	50	92.6	200	100
0.2	700	78	直升机	35	64.82	50-100	30

5. 航空空间重力总精度与误差分配的指标

航空空间重力总精度是指对测点的重力观测值进行外界干扰加速度、正常重力场、重力高度等多项改正后进行低通滤波得到的重力异常总精度。系统地给出了各项改正的公式以及改正误差计算方法，航空空间重力总精度 (σ) 取决于比力测量误差 (δ_1)、垂向加速度改正误差 (δ_2)、水平加速度改正误差 (δ_3)、厄特渥斯改正误差 (δ_4)、正常场改正误差 (δ_5)、零漂改正误差 (δ_6)、高度改正误差 (δ_7) 项。通过式 (3-1) 可估算设计的总精度：

$$\sigma = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2 + \delta_7^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^7 \delta_i^2} \quad (3-1)$$

表 3-5 航空自由空间重力异常总精度参考表 单位： $\times 10^{-5} \text{m/s}^2$

自由空间重力异常总精度	重力观测均方误差	外界加速度干扰改正均方误差	正常重力场改正均方误差	重力高度改正均方误差
0.6	0.3	0.49	0.1	0.15
0.8	0.3	0.72	0.1	0.15
1.0	0.3	0.94	0.1	0.15

从表 3-5 估算可得，航空重力的静态测量精度应 $\leq 0.3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，才能保证航空重力测量总精度达到要求。

6. 计算总结了航空重力测线与切割线交叉点差值的均方差

选择了准噶尔测区航空重磁综合测量、塔里木西部航空重力测量、舟山周边地区航空重力测量和鞍本地区航空（直升机，起伏飞行）重磁综合测量等 4 种不同景观、不同测量方法的测区，首先使用切割线对架次测线进行 0 阶（整线水平平移）或一阶（整线水平平移和斜改）趋势统计调平，然后计算所有架次航空重力测线与切割线交叉点差值的均方差（即精度）。每架次至少有 3 条测线的 170 架次（大约 14 万测量 km）参与调平和统计，共有 170 架次参与了统计，统计结果如图 3-2、3-3。

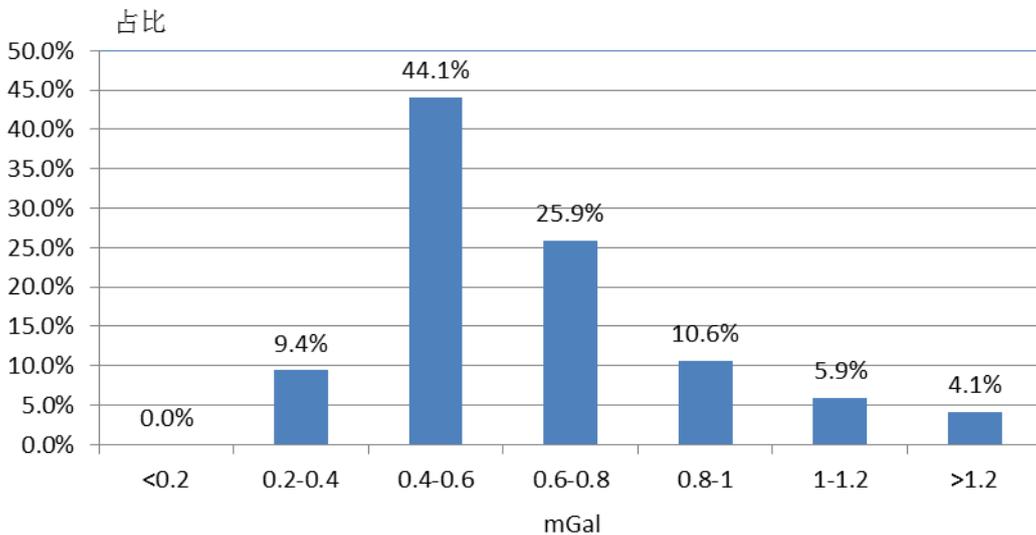


图 3-2 0 阶趋势调平后架次精度分布直方图

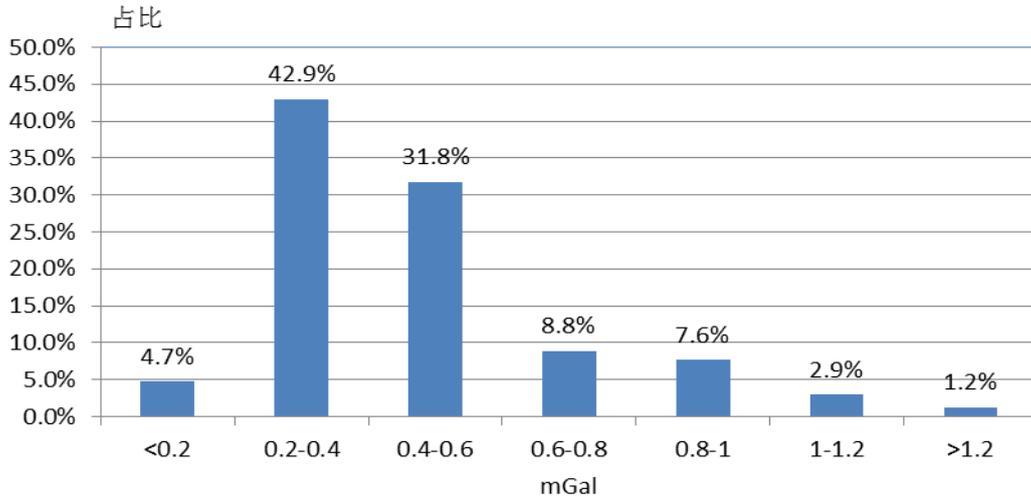


图 3-3 1 阶趋势调平后架次精度分布直方图

所有架次航空重力测线与切割线交叉点差值的均方差结果为：对于 0 阶（整线水平平移）趋势统计调平后， $<0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 79.4%， $0.8-1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 10.6%， $1.0-1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 5.9%， $\geq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 4.1%。对于 1 阶（整线水平平移和斜改）趋势统计调平后， $<0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 88.2%， $0.8-1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 7.6%， $1.0-1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 2.9%， $\geq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 1.2%。

分析了国内外航空重力测量质量评价方法，制定了航空重力架次测量质量评价指标。架次质量评价分为 4 档：1 阶（整线水平平移和斜改）趋势统计调平后测线与切割线交叉点差值的均方差评价如表 3-5。

表 3-5 测线与架次测量质量评价等级表

内 容	整架次	单条测线	评价等级
均方差 σ (10^{-5}m/s^2)	$\sigma \leq 0.8$	$\sigma \leq 1.0$	一 级
	$0.8 < \sigma \leq 1.0$	$1.0 < \sigma \leq 1.2$	二 级
	$1.0 < \sigma \leq 1.2$	$1.2 < \sigma \leq 1.5$	三 级
	$\sigma > 1.2$	$\sigma > 1.5$	作 废

此分类质量评价基本与加拿大 SGL 公司标准一致，稍高于 CMG 公司的评价标准。

三、航空重力测量零点漂移统计与评价标准制定

收集以往开展的航空重力架次前后静态校准数据，统计每架次的漂移以了解架次漂移情况，并研究出架次漂移评价的具体指标。

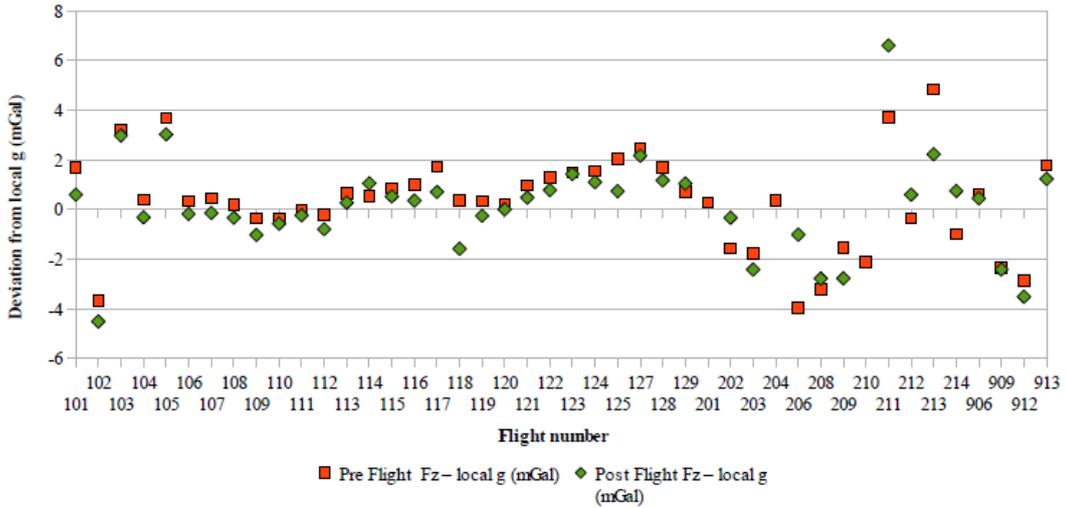


图 3-4 AIRGrav 航空重力测量架次漂移统计图

图3-4为AIRGrav航空重力测量架次漂移统计图，经统计：45架次中， $\leq 1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为29架次， $1 \sim 2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为13架次， $2 \sim 3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为3架次， $> 3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为0架次。图3-5为我国某区航空重力测量103架次漂移统计图。经统计， $\leq 1 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为71架次， $1 \sim 2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为32架次， $> 2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 为0架次。

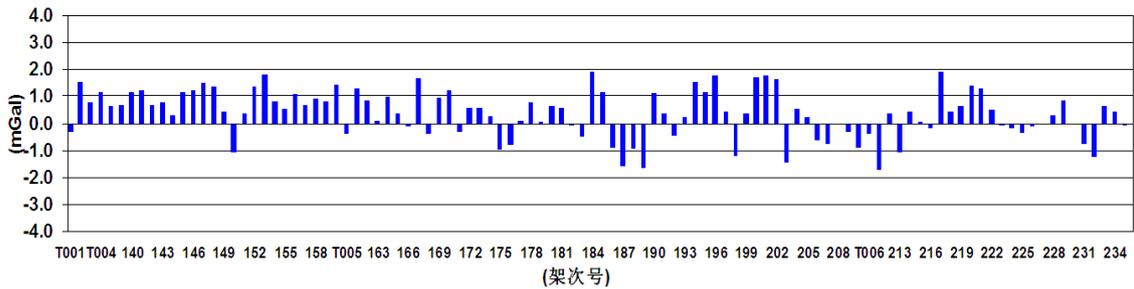


图 3-5 我国某测区 GT 航空重力架次零漂统计直方图

综合考虑历年来航空重力测量各参数统计表中的零漂实际结果（表3-2），制定航空重力零漂 Δf (10^{-5}m/s^2)评价分级如表3-6。如果架次零漂大于 $3 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，为不合格架次。

表 3-6 航空重力零漂分档统计表 (10^{-5}m/s^2)

内 容		AIRGrav	国内某测区 (GT)	分 级
零漂 Δf	$\Delta f \leq 1.0$	64%	69%	一级
	$1.0 < \Delta f \leq 2.0$	29%	31%	二级
	$2.0 < \Delta f \leq 3.0$	7%	0	三级
	$\Delta f > 3.0$	0	0	作废

3.2.5 其他技术指标确定的依据

1. 定位精度

用于重力解算的定位误差采用静态精度来衡量。总结近 10 年来的经验，基准站和移动站同步观测数据时间不少于 2h，事后处理后得到北向、东向和天向静态定位精度不大于 $\pm 0.1\text{m}$ 时，可满足航空重力测量的定位精度要求；由此全球导航卫星系统标称动态精度应满足：平面精度 (m) $0.01+1\times 10^{-6}\times D$ ，高程精度(m) $0.02+1\times 10^{-6}\times D$ ，D 为基线长度，单位 m；测量时要求保证 6 颗（包括 6 颗）以上卫星进行定位，其 PDOP 值一般应小于 2.5。

2. 地面重力基点精度

中华人民共和国国家军用标准 GJB 6561-2008《航空重力测量作业规范》重力基点联测要求按二等重力点精度联测，即 $0.25\times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 。本规范提高了重力点联测的精度，规定了地面重力基准点的测量精度要求达到 $0.05\times 10^{-5}\text{m/s}^2$ ，为航空重力测量精度 $0.6\sim 1.0\times 10^{-5}\text{m/s}^2$ 的 1/10，满足了航空重力测量精度要求，同时减少了地面重力引点的工作量。

3. 仪器安装要求

总结近 10 年的大量试验和作业经验，确定重力设备安装要求。航空重力仪应固联安装在飞机重心位置附近，水平偏离应不超过 1 m，航空重力仪传感器到地面垂直距离的测量精度应优于 0.1m。为减小臂杆效应的影响，差分 GNSS 天线须安装在重力仪正上方附近（3m 之内），并要求机载设备对 GNSS 产生的遮挡和干扰作用要小。

4. 动态精度测量要求

规范中规定了动态精度测量的要求，一是依据了国内外航空重力动态精度评价的通用做法，二是来源于长期工作的经验总结。具体要求：①选择测试线的重力异常应相对完整，异常幅度应大于 $20\times 10^{-5}\text{m/s}^2$ ，测试线长度不小于 30 km，应包含一定的背景场。②应至少完成 2 架次飞行，合计有效测线数不少于 5 条。单架次计算和 2 架次合并计算重复测量的内符合精度均要符合设计要求。通过 2 个不同架次的重复对比，既减少了对比的偶然性，又可以比较客观地反映系统的状态。

3.2.6 技术规范实践性检验和完善

技术规范编制后，在“塔里木盆地东北部航空重磁综合测量”、“松辽盆地西坡航空重磁综合测量”和“海南岛及周边航空重力测量”3 个测区完成了规范的应用试验。塔里木盆地东北部航空重磁综合测量采用的是固定翼飞机、SN15 号 GT-2A 航空重力测量系统，采取同一飞行高度平飞的飞行方法。松辽盆地西坡航空重磁综合测量采用的是直升机、SN13 号 GT-2A 航空重力测量系统，采取沿地形缓起伏的飞行方法。海南岛及周边地区采用的是 CESSNA208 固定翼飞机搭载 SN036 号 GT-2A 航空重力测量系统，采取同一飞行高度平飞的飞行测量方法。应用试验结果如下：

1. 零点漂移统计

在塔里木盆地东北部航空重磁综合测量中，SN15 航空重力仪共完成测量飞行 61 架次，最大零漂 $1.846 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ （如图 3-6），架次零漂均优于 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的指标要求，其中：优于 $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 82%，相当于一级资料；优于 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 100%，均优于二级资料，无三级资料。

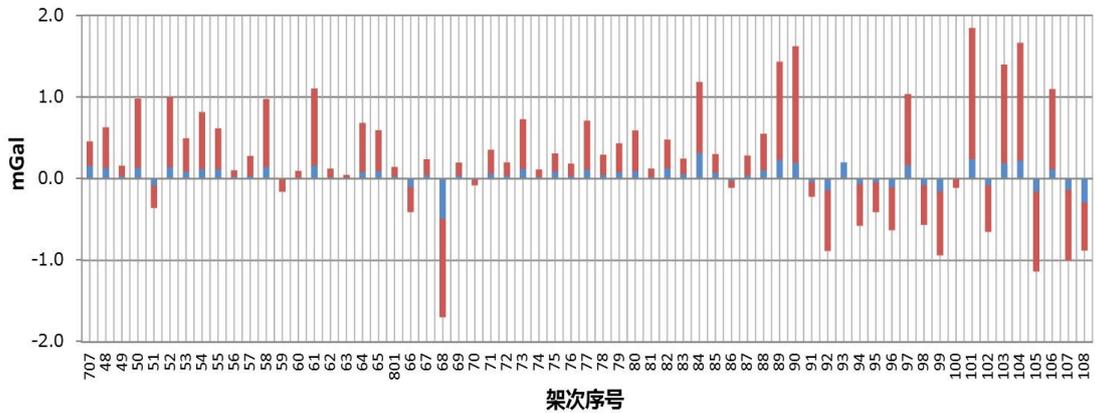


图 3-6 GT-2A (SN015) 航空重力仪架次零漂统计图

在松辽盆地西坡航空重磁综合测量中，SN13 航空重力仪共完成测量飞行 92 架次，最大零漂约 $1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ （如图 3-7），架次零漂均优于 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的指标要求，其中优于 $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 99%，优于 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 100%。

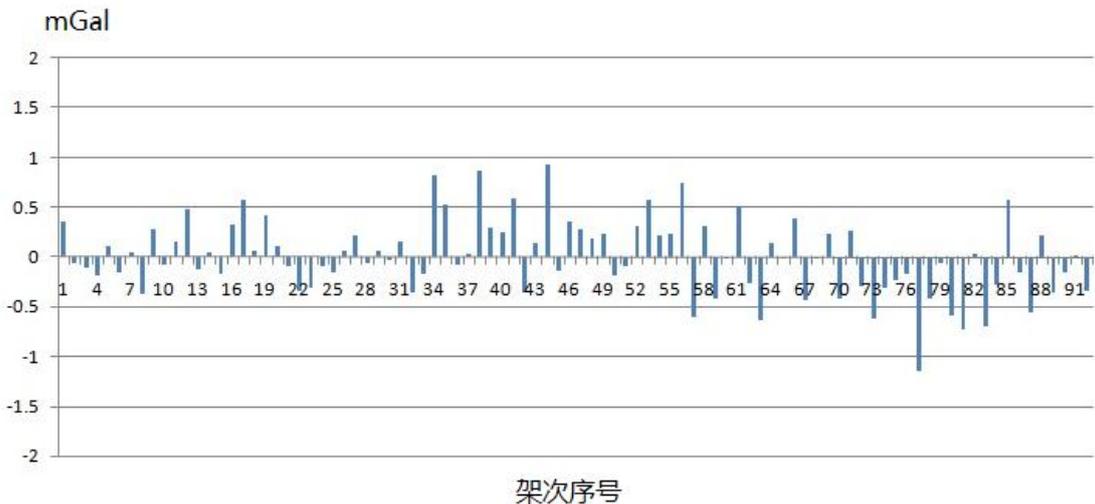


图 3-7 GT-2A (SN013) 航空重力仪架次零漂统计图

在海南岛及周边航空重力测量中，SN036 航空重力仪共完成测量飞行 34 架次，最大零漂约 $-1.619 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ （如图 3-8），其中优于 $1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 97%，优于 $2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的架次占总架次的 100%。

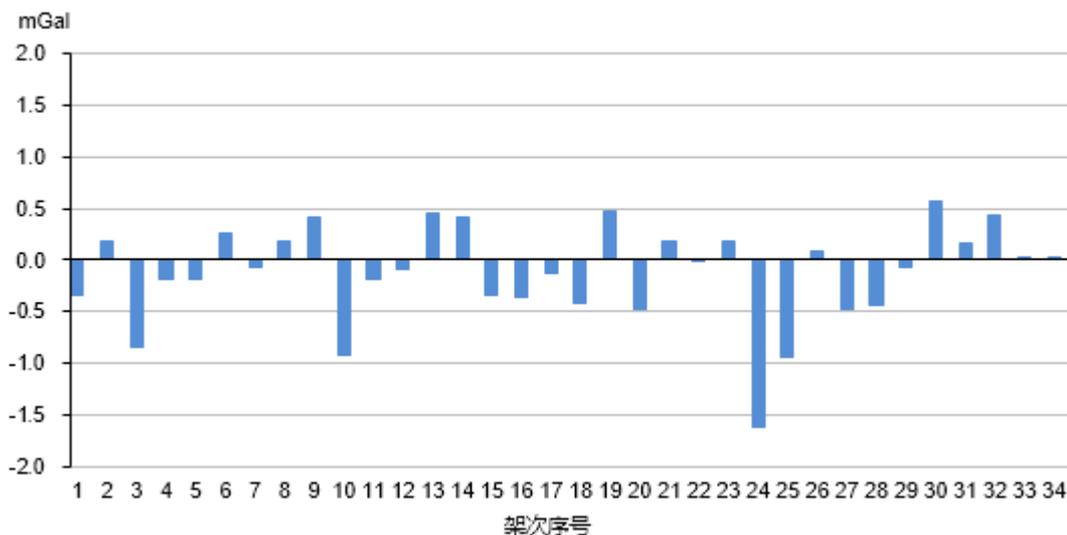


图 3-8 GT-2A (SN036) 航空重力仪架次零漂统计图

将三个测区架次漂移数据与表 3-6 航空重力零漂分级比较，说明表 3-6 零漂分级是合理的，既保证了航空重力零漂评价一定数量的优秀率，又控制了航空重力测量零漂的质量。

2. 航空重力测线/架次质量评价统计

按照规范中“8.3.2 航空重力测线/架次质量评价”的方法，对“松辽盆地西坡航空重磁综合测量”和“海南岛及周边航空重力测量”两个测区进行了测线/架次质量统计和评估。

松辽盆地西坡统计了 45 个架次的 100 条测线数据，航空重力测量质量统计结果如图 3-9、图 3-10。

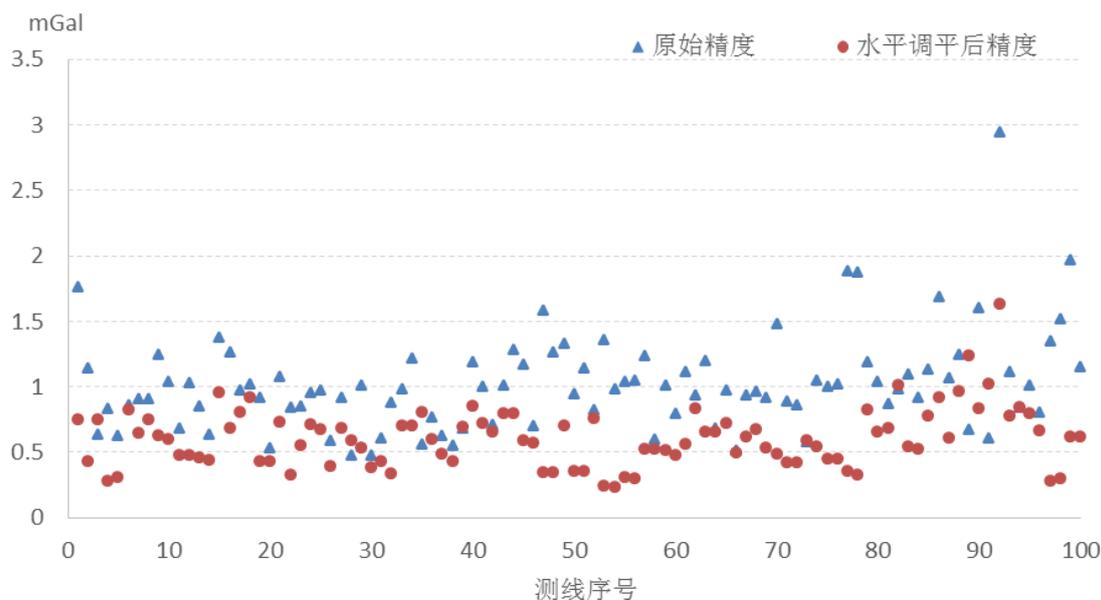


图 3-9 松辽盆地航空重力测线测量质量评价统计图

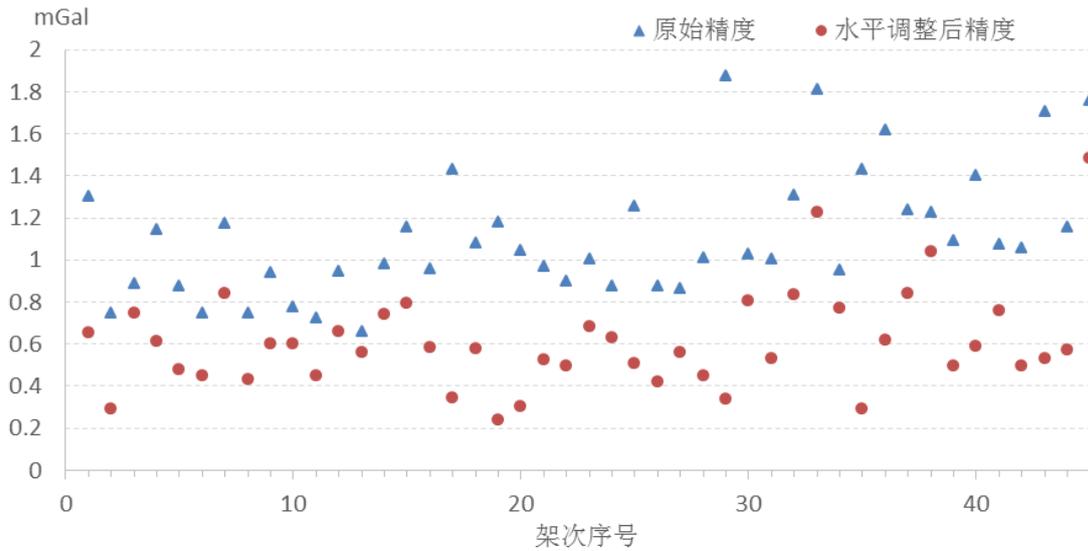


图 3-10 松辽盆地航空重力架次测量质量评价统计图

表 3-7 为松辽盆地西坡航空重力测线测量质量评价统计结果。45 架次中，水平调整前架次质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 13%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 46%， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 71%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 89%， $> 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 11%。水平调整后架次质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 87%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 96%， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 98%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 100%。

100 条测线中，水平调整前测线质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 24%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 56%， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 80%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 92%， $> 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 8%。水平调整后测线质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 86%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 96%， $\leq 0.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 98%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占 99%。

表 3-7 松辽盆地西坡航空重力测量/架次测量质量汇总表

均方差 (mGal)	水平调整前		水平调整后		水平调整前		水平调整后	
	整架数	比例%	整架数	比例%	测线数	比例%	测线数	比例%
$\sigma \leq 0.8$	6	13	39	87	24	24	86	86
$0.8 < \sigma \leq 1.0$	15	33	4	9	32	32	10	10
$1.0 < \sigma \leq 1.2$	11	25	1	2	24	24	2	2
$1.2 < \sigma \leq 1.5$	8	18	1	2	12	12	1	1
$\sigma > 1.5$	5	11	0	0	8	8	1	1

海南岛及周边测区统计了 26 个架次的 130 条测线数据。航空重力测量质量统计结果如图 3-11、图 3-12，质量统计分布如表 3-8。

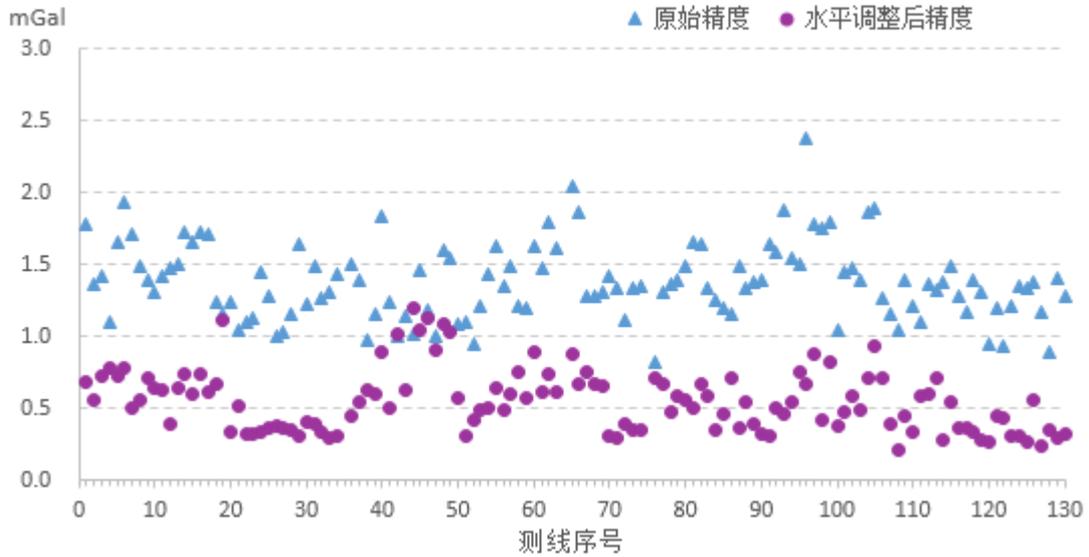


图 3-11 海南岛及周边航空重力测线精度统计图

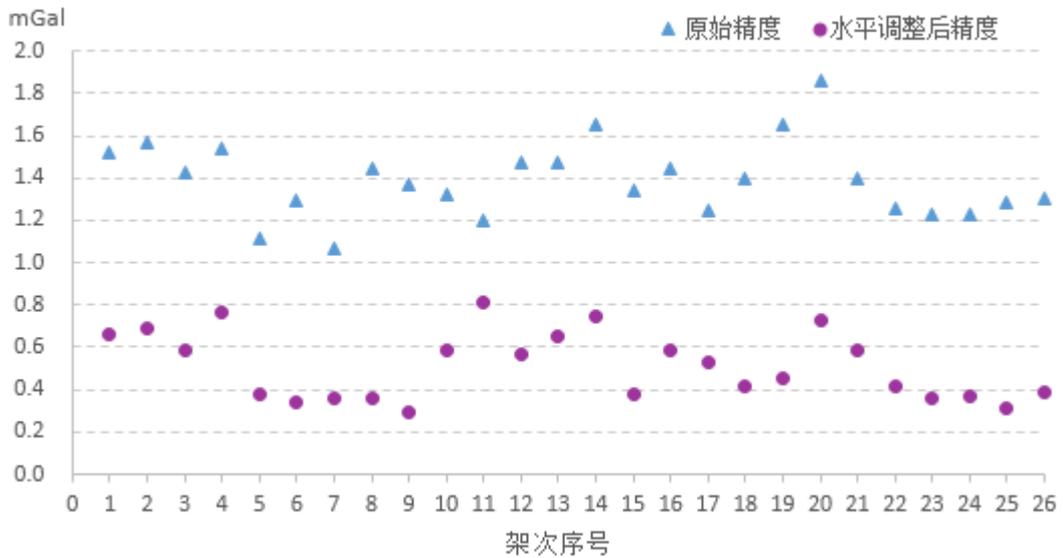


图 3-12 海南岛及周边航空重力架次精度统计图

表 3-8 海南岛及周边航空重力测线/架次精度统计分布表

均方差 (mGal)	架次精度分布				测线精度分布			
	水平调整前		水平调整后		水平调整前		水平调整后	
	整架数	占比	整架数	占比	测线数	占比	测线数	占比
$\sigma \leq 0.8$	0	0.0%	25	96.2%	0	0.0%	116	89.2%
$0.8 < \sigma \leq 1.0$	0	0.0%	1	3.8%	8	6.2%	7	5.4%
$1.0 < \sigma \leq 1.2$	2	7.7%	0	0.0%	26	20.0%	7	5.4%
$1.2 < \sigma \leq 1.5$	18	69.2%	0	0.0%	64	49.2%	0	0.0%
$\sigma > 1.5$	6	23.1%	0	0.0%	32	24.6%	0	0.0%
合计	26	100%	26	100%	130	100%	130	100%

26架次中，水平调整前架次质量： $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占7.7%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占76.9%， $> 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占23.1%。水平调整后架次质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占96.2%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占100%。130条测线中，水平调整前测线质量： $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占6.2%， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占26.2%， $\leq 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占75.4%， $> 1.5 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占24.6%。水平调整后测线质量： $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占89.2%， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占94.6%， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 的占100%。

对照规范中“表6 测线与架次测量质量评价等级表”，该2测区水平调整后架次测量质量“ $\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占86%以上， $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占96%以上”和测线测量质量“ $\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占94.6%以上， $\leq 1.2 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 占98%以上”为一级和二级资料，质量评估指标设置合理，既有效地评价了资料的质量，保证了正常测量条件下测线质量能够满足规范的考核要求，又能甄别出不符合测量质量要求的测线。

3. 其它指标统计

塔里木盆地东北部、松辽盆地西坡航空重力测量和海南岛及周边航空重力测量所有实测技术指标均满足了规范设定的指标要求，详见表3-9、表3-10、表3-11。

表3-9 塔里木盆地东北部航空重力测量质量汇总表

项目	测量方法	规范/设计质量要求	实测技术指标
重力基点精度	高精度地面重力仪利用双程往返观测	$\leq 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	$7 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$
静态测试	通过前后校计算架次(日)的漂移量	$\leq \pm 3.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq \pm 1.84 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
动态测试	测试重复线、基线重复线及测线重复线飞行	$\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq 0.6 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
导航质量	以实际飞行航迹的疏密度衡量	500m \pm 80m	500m \pm 10.8m
差分GPS定位精度	GT软件差分处理	位置RMS \leq 1m， 速度RMS \leq 0.05m/s	位置RMS: 0.001-0.377m 速度RMS: 0.0001-0.0274m/s
静态定位精度	地面静态定点观测	优于 \pm 10m	\leq 1m
飞行高度	平飞，山前缓起伏	平飞区域 1400 \pm 20.0m (GPS海拔高度)数据占80%以上	平飞区域 1400 \pm 20.0m (GPS海拔高度)数据占99.98%
飞行速度	利用GeoProbe统计	平均速度210~230km/h	225.7km/h
偏航统计	利用GeoProbe统计	偏航距大于80m，且长度超过5km的测线需要重飞	以80m为警告阈值，最大偏航不超过100m，连续偏航部分均小于1.68km

表 3-10 松辽盆地西坡航空重力测量质量汇总表

项 目	测量方法	规范/设计质量要求	实测技术指标
重力基点精度	高精度地面重力仪利用双程往返观测	$\leq 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	$5 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$
静态测试	通过前后校计算架次(日)的漂移量	$\leq \pm 3.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq \pm 1.24 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
动态测试	测试重复线、基线重复线及测线重复线飞行	$\leq 1.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq 0.77 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
导航质量	以实际飞行航迹的疏密度衡量	1000m \pm 80m	500m \pm 1.1m
差分 GPS 定位精度	GT 软件差分处理	位置 RMS \leq 1m, 速度 RMS \leq 0.05m/s	位置 RMS: 0.001-0.4m 速度 RMS: 0.0001-0.04m/s
静态定位精度	地面静态定点观测	优于 \pm 10m	\leq 1.49m
飞行高度	沿地形缓起伏飞行	设计离地飞行高度 200m (雷达高度), 全区离地飞行高度 200m	离地飞行高度 179m, 全区离地飞行高度 200m 以下测点占 83.7%
飞行速度	利用 GeoProbe 统计	平均速度 80~160km/h	150km/h
偏航统计	利用 GeoProbe 统计	偏航距大于 80m, 且长度超过 5km 测线需要重飞	偏航 80m 以上连续线段均小于 1km

表 3-11 海南岛及周边航空重力测量质量汇总表

项 目	测量方法	规范/设计质量要求	实测技术指标
重力基点精度	高精度地面重力仪利用双程往返观测	$\leq 50 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$	$15.5 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$
静态测试	通过前后校计算架次(日)的漂移量	$\leq \pm 2.0 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq \pm 1.619 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
动态测试	测试重复线、基线重复线及测线重复线飞行	$\leq 0.8 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$	$\leq 0.724 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$
导航质量	以实际飞行航迹的疏密度衡量	2000m \pm 30m	2000m \pm 7.2m
差分 GPS 定位精度	GT 软件差分处理	位置 RMS \leq 1m, 速度 RMS \leq 0.05m/s	位置 RMS: <0.4m 速度 RMS: <0.03m/s
静态定位精度	地面静态定点观测	优于 \pm 10m	\leq 7.177m
飞行高度	平飞	GPS 高度 600 \pm 20.0m 数据占 80% 以上	GPS 高度 600 \pm 20.0m 数据占 99.9%
飞行速度	利用 GeoProbe 统计	平均速度 220km/h	226.7km/h
偏航统计	利用 GeoProbe 统计	偏航距大于 50m, 且长度超过 5km 测线需要重飞	偏航超过 50m 连续不超过 3.9km

由此, 可以说明本规范所设定的航空重力测量的各项技术指标是合理的。

3.3 重大分歧意见的处理经过和依据

在征求意见后的意见处理过程中，存在一些分歧意见，重大的分歧意见主要集中在如下几个方面：

- (1) 差分GNSS动态定位精度评价方法；
- (2) 航空重力测量精度评价方法。

经过几次会议讨论，以及实际的测试验证的结果，最终确定了问题点的分析与结果：

3.3.1 差分 GNSS 动态定位精度的评价方法

从理论上讲，差分GNSS动态定位精度影响着航空重力的载体垂向加速度改正、高度改正、正常场改正、厄特渥斯改正、地形改正等，所以了解差分GNSS动态定位精度是由必要的。

从目前差分GNSS动态定位精度来看，由差分GNSS获得的位置和速度能够满足高度改正、正常场改正、厄特渥斯改正、地形改正的误差分配要求，但对于载体垂向加速度改正显然存在2个难题：一是差分GNSS动态垂向定位精度到底是多少？二是利用差分GNSS动态定位数据能完全反映载体的动态高度轨迹，或动态垂向加速度？要精确获得这两种参数在实际测量过程中是很难实现的。

为了评价差分GNSS动态定位精度能否满足航空重力测量精度的要求，实际做法是通过评价与之一一起解算出的航空重力异常测量精度，间接地评价差分GNSS动态垂向定位精度。如果达到测量精度要求，就认为差分GNSS动态垂向定位精度是满足要求。

另外，在选择差分GNSS系统时，规定了须使用双频测地型差分GNSS系统，观测量应有载波相位，其标称动态精度应满足要求。同时差分GNSS系统定位误差采用静态精度来衡量，间接地评估用于生产的差分GNSS系统是否满足重力测量精度的要求。

3.3.2 航空重力测量精度的评价方法

目前，航空重力测量精度采用的是重复飞行测量计算其内符合精度进行评价，也可以航空重力与地面重力对比的外符合精度进行评价。但不能对每条测线都进行重复测量或对比测量，为了评价航空重力测量精度，规范同时采用以下3种方法对航空重力测量精度进行监控和评价。

1. 航空重力质量检查线（或基线、或重复线）评价方法

就像地面重力质量检查方法一样，通过重复抽样测量进行质量评价。具体要求是每5个连续架次之内必须进行一次质量检查，即安排一次航空重力质量检查线（或基线、或重复线），且保证检查工作量达到3%~5%以上，同时要求质量检查贯穿于作业全过程，防止突击性进行质量检查。

2. 航空重力测线/架次测量质量评价方法

航空重力测线/架次测量质量采用每架次测线与控制线交叉点空间重力异常残差值的均方差进行评价。这是目前国际同行采用的航空重力测线/架次测量质量评价方法，由此可对每条测线和架次的测量精度进行评价。利用不同架次的测线和控制线的数据符合程度进行评价，与地面抽样质量检查方法具有相似性，但要求测线和控制线的测量高度要基本一致。

3. 航空重力过程参数监控评估方法

一是将该测线与相邻测线进行符合性对比；二是检查定位数据质量（如GNSS是否存在跳点、卫星数是否不足）、飞行姿态是否突变、飞行高度是否瞬变、颠簸是否剧烈等；三是观测的饱和点数是否超过要求。通过过程监控，对航空重力测量质量进行评估。

通过以上具体的方法和措施，比较好地处理了这2项重大分歧意见。

4. 标准的特点

《航空重力测量技术规范》主要有以下特点：

(1) 《航空重力测量技术规范》是我国第一部适合资源勘查行业的航空重力测量技术标准。规定了航空重力测量的技术设计、仪器设备、测量飞行与野外作业、数据处理与图件编制、航空重力资料推断解释与成果报告编写等技术要求。

(2) 规范主要适用于基础地质调查、油气与矿产资源勘查的航空重力测量，水文及工程地质勘查的航空重力测量亦可参照使用。因此，可以说规范具有鲜明的行业特色。

(3) 规范依据GB/T 1.1-2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规定编制，格式规范，结构完整，内容全面。

(4) 规范是针对资源勘查航空重力测量而制定的技术规定，面向资源勘查领域的航空重力测量的各项技术要求。标准的编制质量较高，文字精炼，篇幅适中。内容具体细致，易于理解，针对性好，可操作性强。

5、规范主要由航空重力使用单位、技术研发单位的技术专家承担编写工作，征求了地面重力、海洋重力等测量单位的专家意见。程序公开透明，技术上百家争鸣，比较全面、客观地反映了我国资源勘查等领域的航空重力测量技术的现状和总体技术水平，符合我国自然资源行业现阶段技术应用需求，有利于提高航空重力调查工作质量和规范性水平。

5. 采用国际标准

国际上尚未见全行业统一制定航空重力测量技术规范、规程的先例等技术标准，国内目前也没发布相关的标准。因此本规范没有引用国际标准的相关内容。

在航空重力测量与应用时，国外各公司（不同机构）均根据自身的仪器特点，制定了航空重力的测量方法、校正技术、质量控制和数据处理等内部技术要求，其中质量控制和数据处理在业内有比较统一的方法和标准，互相作为商业竞争的指标要求。虽然各公司之间并没有形成统一的测量技术要求或测量技术规范，但这些技术要求仍然是制订商业合同的依据。

在规范编制过程中，编写组分析和研究了国外同行航空重力测量技术报告中的架次（或测线）测量质量的评价方法、缓起伏飞行方法、地形改正方法和布格改正方法等方法技术。在消化吸收的基础上，引用了国外这部分成熟的方法技术，成为规范的重要内容和主要依据。

本技术规范第一次完整地、系统地编制了资源型航空重力测量技术要求，在技术指标设定、工作方法确定、测量质量评价等方面处于国际先进水平。

6. 与现行法律、法规和标准的关系

本规范为新制定的标准，符合国内资源型航空重力测量的发展方向和规范生产的要求，符合国家有关标准化工作的法律、法规和方针、政策要求，与现有重力测量政策法规等保持协调。

新标准技术先进、切实可行，有利于促进科技进步与创新及科技成果转化，有利于建立和完善科学合理的自然资源技术标准体系。

《航空重力测量技术规范》引用了现有地质勘查标准及与重力相关的有关重力测量技术规定，确保与现行地质勘查标准的协调一致，与现行相近标准体系的兼容。

7. 标准作为强制性或推荐性标准的意见

本规范是针对基础地质调查、油气与矿产资源勘查的航空重力测量工作，根据《自然资源标准化管理办法》的相关规定和要求，建议《航空重力测量技术规范》作为自然资源行业推荐性技术标准颁布实施。

8. 贯彻标准的要求和措施建议

新的标准颁布后，建议自然资源部有关业务主管机构，及时组织并委托本标准的编写单位进行标准的宣传贯彻和培训工作。在本标准编制过程中，编写单位做了较深入的调研和论证，信息比较丰富，涉及很多技术细节，宣贯宜采取培训班方式，计划开展2-3期。

本标准的编写单位应主动跟踪标准的实施情况，积极配合自然资源部有关业务主管机构对标准实施工作进行监督和指导。

9. 废止现行有关标准的建议

《航空重力测量技术规范》是新制定的技术标准，在现行自然资源标准体系中，无重复、相似或相同的标准。

10. 其他应予说明的事项

(1) 规范面向资源勘查领域，各类航空重力测量系统均可使用

规范中的技术要求没有针对某一特定的仪器系统，而是广泛地结合了当前的各类航空重力测量系统，基本上都能满足各类航空重力测量系统的需求。因此，在仪器操作、维护和使用和数据处理等方面只有基本的技术要求，没有具体的细节和规定，各类航空重力测量系统的使用可参照仪器系统所提供的操作手册和使用要求。

(2) 航空重力成果解释技术为基本要求，更多的解释成果可因人而多样

航空重力成果解释技术是一个在不断实践中逐步成熟起来，相对于测量技术方法，目前略显滞后；同时由于解决问题的目的不一，解释人员的认识不一，解释技术和成果的展现大为不同。因此，对航空重力成果解释技术规范没有提出更多的硬性规定，只提出了基本的解释技术要求，留给解释人员更大的空间去发挥其解释能力，展现出更好的解释技术和丰富的特色成果。

(3) 编制的技术规范仍需长期的完善，以满足未来的需求

由于编写组在认识水平和能力方面的限制，《航空重力测量技术规范》（报送稿）仍可能存在一些错误和不足之处。请各位专家继续提出宝贵意见和建议，以进一步完善本标准，尽快形成报批稿，早日颁布实施，规范和指导我国资源勘查领域的航空重力测量技术发展。同时，随着航空重力技术的发展，规范中的一些要求将有可能出现不满足实际需要的内容，因此规范还需在实践中不断地得到进一步完善。

11. 鸣谢

在本标准的调研和编写过程中，编写组得到了全国地质勘查行业标准化专家、重力技术专家、一线重力技术人员和项目负责人的大力支持。在工作组讨论稿、征求意见稿和送审稿的编写和咨询阶段，评审专家在百忙之中详细审阅，提出了大量宝贵意见，对本标准的完成、完善起到了极其重要的作用。先后书面或口头提出反馈意见和建议的专家、领导有白冶、陈国胜、曾春芳、付宗堂、黄谟涛、黄金明、黄照强、贺颢、兰学毅、李祎峰、刘宽厚、刘士毅、雷受旻、罗显元、孟小红、欧阳永忠、施兴、孙中任、吴美平、王兴涛、王为银、肖桂义、向运川、夏响华、许传建、袁桂琴、杨亚斌、姚长利、张明华、张贵宾、张开东、

翟国君、赵更新（按姓氏笔画先后排序）等，还得到中国自然资源航空物探遥感中心的各位专家的大力支持和帮助，在此，标准编写组表示衷心感谢！

《航空重力测量技术规范》编写组

2018年10月8日