

# 《无人机航空磁测数据采集技术要求》(报批稿)

## 编制说明

中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所

二〇二一年三月

# 目 次

一、工作简况.....	1
1.1 任务来源 .....	1
1.2 起草单位 .....	1
1.3 标准主要起草人及其所做的工作 .....	1
1.4 主要工作过程 .....	2
二、标准编制原则和主要技术内容的确定.....	6
2.1 标准编制原则.....	6
2.2 确定标准主要内容的论据.....	8
三、主要试验(或验证)的分析和预期的经济效果.....	29
3.1 主要实验分析.....	29
3.2 预期的经济效果.....	29
四、采用国际标准和国外先进标准的程度.....	30
五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系.....	30
六、重大分歧意见的处理经过和依据.....	30
6.1 重大分歧意见.....	30
6.2 处理经过和依据.....	31
七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议.....	31
八、贯彻标准的要求和措施建议.....	32
九、废止现行有关标准的建议.....	32
十、其他应予说明的事项.....	32

# 《无人机航空磁测数据采集技术要求》（报批稿）

## 编制说明

### 一、工作简况

#### 1.1 任务来源

《无人机航空磁测数据采集技术要求》制定系中国地质调查局所属二级项目“地质调查标准制修订与升级推广”之子项目“《无人机航空磁测技术规范》制定”。承担单位为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所，子项目起止时间：2016年1月～2017年12月，项目实施单位为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

本标准已列入自然资源部标准制修订工作计划，计划文件名称及文号：《关于印发2018年度自然资源标准制修订工作计划的通知》（自然资办发〔2018〕14号）；计划编号：2018027。在标准体系中的位置及编号：本标准已列入《国土资源标准体系（2016年版）》勘查技术方法标准中的地球物理勘查标准，编号为4341-19。

#### 1.2 起草单位

中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

#### 1.3 标准主要起草人及其所做的工作

本标准主要起草人如下：高卫东、李军峰、孟庆敏、袁桂琴、胥值礼、崔志强、路宁、西永在、吴珊。

高卫东负责标准的总体设计、总体统稿和主要编制；孟庆敏、李军峰主要负责总体协调、总体设计；袁桂琴主要负责标准的统稿与审核；胥值礼主要负责数据处理部分编写；崔志强主要负责资料推断解释和成果编写部分编写；路宁、西永在主要负责测量飞行与野外工作部分的编写；吴珊主要负责格式编排，资料收

集、整理和校对。

## 1.4 主要工作过程

### 1.4.1 标准草案起草阶段

2015 年 12 月，开展无人机航空磁测技术规范的立项工作，组织从事无人机航空磁测工作的专家及技术人员成立标准起草组，负责标准起草工作。

2016 年 1~3 月，调研和总计国内外无人机航空磁测的方法技术，收集相关标准资料及文献 40 份，通过对资料的整理与分析，了解国内标准需求现状，拟定标准提纲并编写完成标准制定设计书。

2016 年 4 月，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所组织专家对“《无人机航空磁测技术规范》制定”子项目总体设计进行了审查，并通过评审。标准编写组根据专家评审意见完成了设计书的修改和编写工作。

2016 年 5 月，收集与标准编写相关的标准资料及文献调研，完善设计中拟定的规范提纲调条款。

2016 年 5 月 25~27 日，参加由中国国土资源经济研究院（全国国土资源标准化委员会秘书处）主办的“地质矿产标准编写培训班”的标准编制培训学习，了解掌握地质矿产标准编写的要点和有关要求。

2016 年 6 月，参加我国西北部无人机航磁调查野外生产工作，在野外生产一线开展无人机航空磁测技术应用调研，就标准详细提纲中无人机航空磁测野外生产的工作方法、仪器要求、安装调试、飞行控制、性能指标、数据采集及数据处理等条款内容征求专家及一线技术人员的意见 10 人次，补充完善标准编写提纲。

2016 年 7~8 月，按照标准详细编写提纲要求，分工编写标准具体条款内容。

### 1.4.2 征求意见阶段

2016 年 9 月，汇总标准编写内容，形成标准初稿，将标准初稿分发给相关专家及本研究室专家，广泛征求意见。

2016 年 10 月，项目组对专家反馈意见进行讨论，分工完善标准各章节条框内容。

2016 年 11 月，按照任务书及设计要求，遵循“GB/T 1.1-2009 标准化工作

导则第 1 部分：标准的结构和编写”的有关规定，完成标准初稿的编写工作。

2016 年 12 月，参加中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所在成都举办的“勘查技术标准修订 2016 年度进展与成果交流研讨会”，进行了子项目进展与成果的汇报，并就初稿内容征求专家意见。标准编写组就专家所提意见与建议对标准初稿各章节条款进行了逐条讨论与修改。

2017 年 1~3 月，子项目按照任务书完成标准年度工作方案的编写与审查工作。

2017 年 4 月 6 日，在北京西郊宾馆召开“《无人机航空磁测技术规范》初稿研讨会（图 1-1），邀请中国国土资源航空物探遥感中心、核工业航测遥感中心、中国冶金地质总局地球物理勘查院、中国地质大学（北京）、中国航天科技集团公司第十一研究院、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所等单位专家，与会专家就标准范围界限、章节条款内容、技术指标确定等内容进行了讨论，并提出了中肯的意见和建议。标准编写组对专家意见进行了整理及讨论研究，并对标准进行了修改、完善，形成了《无人机航空磁测技术规范》征求意见稿。初稿研讨会中共收集专家意见 240 条，其中采纳意见 200 条，占总意见 83%；部分采纳 16 条，占总意见 7%；不采纳意见 24 条，占总意见 10%。



图 1-1 标准初稿研讨会

2017 年 4~7 月，根据标准初稿研讨会中专家提出的意见与建议，继续调研无人机航磁技术现状、收集无人机航磁研究及应用资料。组织修改并形成标准征求意见稿。

2017 年 7 月，组织物化探研究所航空物探研究室专家及科研人员对标准征求意见稿进行逐条研讨，对标准征求意见稿提出 69 条意见，并根据研讨意见修改完善标准征求意见稿。

2017 年 7~9 月，相继走访山西煤炭地质物探测绘院、方信科技、桔灯勘探、上海劳雷、杭州第 715 研究所等单位，调研无人机航磁技术应用情况并分发征求意见稿。根据走访、调研情况修改、完善征求意见稿，并将征求意见稿以邮寄方式分发给相关单位专家，并根据返回意见继续修改、完善征求意见稿。走访调研过程中共收集意见 257 条，其中采纳意见 204 条，占总意见 79%；部分采纳 12 条，占总意见 5%；不采纳意见 41 条，占总意见 16%。



图 1-2 标准征求意见稿研讨会

2017 年 9 月 25 日，在北京西郊宾馆召开“《无人机航空磁测技术规范》征求意见稿研讨会（图 1-2），邀请中国国土资源航空物探遥感中心、核工业航测遥感中心、中国冶金地质总局地球物理勘查院、吉林大学、中国航天科技集团公司第十一研究院、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所等单位专家，与会专家就标准范围界限、章节条款内容、技术指标确定等内容进行了讨论，并提出了中肯的意见和建议。征求意见稿研讨会中共收集专家意见 55 条，其中采纳意

见 54 条，占总意见 98%；不采纳意见 1 条，占总意见 2%。

#### 1.4.3 标准送审稿形成阶段

2017 年 10~11 月，标准编写组根据征求意见稿专家研讨会中专家提出的意见与建议，进行整理、分析与讨论，并对标准进行了修改、完善，形成了《无人机航空磁测技术规范》送审稿。

2017 年 11 月，开展技术规范征求意见的应用试验，并对相关内容进行修改和完善。

2018 年 6 月 5 日，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所组织专家对“《无人机航空磁测技术规范》制定”子项目成果进行了初审。

2018 年 7 月 24 日，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所组织专家对“《无人机航空磁测技术规范》制定”子项目成果进行了评审，评定等级：优秀。

2018 年 9 月编写组根据专家的意见和建议，对标准文本进行修改、完善，形成了用于报批的《无人机航空磁测技术规范》（送审稿）。

#### 1.4.4 标准审查阶段

2018 年 9 月 12-13 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《无人机航空磁测技术规范》行业标准（送审稿）进行了审查。经汇报、质询、讨论形成会议纪要，专家组认为本标准文本齐全，标准结构合理，编制过程规范，技术指标先进，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，尽快上报。

针对本次审查专家提出的具体修改意见和疑问（详见审查意见汇总处理表），标准编写组再次逐一对所提意见并遵循“GB/T 1.1-2020 标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写”的有关规定进行了修改，使《无人机航空磁测数据采集技术要求》格式更加规范，内容更加合理，于 2021 年 3 月形成了《无人机航空磁测数据采集技术要求》（报批稿），同时在编制说明中详细做了说明性解释。

## 二、标准编制原则和主要技术内容的确定

### 2.1 标准编制原则

依据目前现行的国家或行业规范标准,参照了国内外无人机航空磁测报告和相关文献资料等,同时,结合当前生产工作的实际情况进行了无人机航空磁测技术规范的编制工作。编制的主要技术和依据有以下 4 个部分。

#### 2.1.1 标准编写的格式标准

《无人机航空磁测数据采集技术要求》制定过程中,标准的编写格式、内容及描述方法严格按照国家《标准化工作导则—第 1 部分:标准的结构和编写》(GB/T 1.1-2020)和《标准化工作手册》有关规定的程序和方法进行编制。

#### 2.1.2 标准编制遵守原则

- (1) 政策性原则:编写过程中遵循国家相关法律、法规和政策;
- (2) 先进性原则:以国内外最新的技术要求为基础,并兼顾今后的发展趋势,对规范进行编制、充实和创新,使之具有先进性;
- (3) 适用性原则:收集了大量的国内外无人机航空磁测的实测数据和技术性资料,并作为本规范编制主要技术依据,具有可操作性和实用性;
- (4) 协调统一性原则:参照国内相关标准的编写形式、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;
- (5) 规范化原则:按照了 GB/T 1.1-2020 的格式要求进行规范编制,格式、内容及描述规范化。

#### 2.1.3 技术内容参照的现行标准

依据目前现行的国家或行业规范标准,参考了国内外无人机航空磁测报告和相关文献资料等,同时,结合当前生产工作的实际情况进行了无人机航空磁测技术规范的编制工作。主要参考标准如下:

- (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) 中华人民共和国核行业标准 EJ/ 1032-2005《航空伽马能谱测量规范》;



(3) 中华人民共和国地质矿产行业标准 DZ/T 0071-93《地面高精度磁测技术规程》；

(4) 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》；

(5) 中华人民共和国国家军用标准 GJB 6703-2009《无人机测控系统通用要求》；

(6) 中华人民共和国民用航空行业标准 MH/1010-2000《航空物探飞行技术规范》

(7) 中华人民共和国测绘行业标准化指导性技术文件《无人机航摄系统技术要求》；

(8) 中国地质调查局地质调查技术标准 DD2006-03 岩矿石物性调查技术规程。

标准技术内容主要在参考《航空磁测技术规范》、《航空伽马能谱测量规范》、《航空物探飞行技术规范》等相关规范的基础上，结合无人机航空磁测技术特点吸收《无人机测控系统通用要求》、《无人机航摄系统技术要求》等标准编制。

#### 2.1.4 符合实际工作需要

近年来，鉴于无人机航空磁测具有续航时间长、抗极端条件强、成本低廉、飞行效率高、数据质量好等诸多优点。国际、国内航空物探飞行平台已有从传统的有人机向无人机发展的趋势。国外发达国家已经进行了多年的无人机航空磁测研究，并取得了显著的成果。国内的无人机航空物探研究虽起步较晚，但发展迅速、且逐步成熟。已在海岸带、沙漠、丘陵、低山和高山等多种地形条件下，完成试验和应用示范 5 万余测线公里、完成生产测量 20 余万余测线公里，涵盖 1:1 万、1:2.5 万、1:5 万、1:10 万等多种测量比例尺的野外测量工作，并取得了卓越的成果。

首先，《无人机航空磁测数据采集技术要求》是对已有的无人机航空磁测数据采集工作的总结，同时也将指导无人机航空磁测的实际工作过程。因此，标准编写组在制定时一直坚持“流程清晰、方法简单、易于操作”的制定思路，同时体现无人机航空磁测技术发展趋势，满足科学性和可操作性。其次，结合实际调研情况，全面了解全国无人机航空磁测系统及技术参数，实地调研无人机航空磁

测应用现状及存在的问题，做到制定时不脱离实际、操作便捷，综合考虑无人机航空磁测方法高效、灵活、全天时、高分辨率等自身特点及应用条件制定相应的技术规范，满足当前地质调查对无人机航磁调查工作的需要，为今后基础性、公益性无人机航空磁测地质调查工作做好勘查技术标准支撑，推动无人机航磁技术广泛应用。最后，在修制定过程中，标准编写组全程参与无人机航空磁测工作的各个环节，切身实践，理论联系实际，杜绝纸上谈兵。

## 2.2 确定标准主要内容的论据

### 2.2.1 标准编制参照主要技术资料

通过网络、e-mail 和现场咨询等方式，收集有关无人机航空磁测技术报告、文献资料和方法技术研究论文等相关资料 110 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，为标准制定提供了重要依据。标准编制参照的主要技术资料详见表 2-1，其它技术资料详见参考文献。

表 2-1 标准编制参考的主要技术资料一览表

序号	资料名称	提供个人/单位
1	重点油气盆地和成矿区带航空物探与遥感调查工程会议纪要，2015 年 第 1 期 总（01 期）	中国国土资源航空物探遥感中心
2	基于无人机的航空物探（电、磁、放）综合站测量技术研发与应用示范项目成果报告	李军峰 胥值礼/物化探所
3	黑龙江多宝山地区无人机航磁应用示范报告	李军峰 胥值礼/物化探所
4	新疆喀什以南地区无人机航磁应用示范报告	李军峰 胥值礼 李飞/物化探所
5	新疆克拉玛依以北地区无人机航磁应用示范报告	李军峰 胥值礼 李飞/物化探所
6	彩虹 3 无人机航磁测量系统应用技术指南	李军峰 胥值礼/物化探所
7	海岸带综合地质调查技术集成与实验研究	西永在 路宁/物化探所
8	自主技术无人机航空物探（磁/放）综合站研发进展	李文杰/地球学报
9	新型无人机航磁系统在多宝山矿区的应用试验	李军峰, 李文杰, 秦绪文, 物探与化, 2014, 38(4):846-850.
10	现行三类平台航磁勘查系统特点及勘查效果评述	崔志强, 胥值礼, 孟庆敏, 高卫东 物化探计算技术, 2015, 37(4):437-443.
11	航磁软补偿质量评价方法及软件实现	王林飞, 薛典军, 熊盛青, 物探与化探, 2013, 37(6): 1027-1030.
12	航磁补偿动作规范性评价	王林飞, 薛典军, 段树岭, 物探与化探, 2016, 40(2):365-369.

表 2-1 标准编制参考的主要技术资料一览表（续）

序号	资料名称	提供个人/单位
13	航空磁测飞行高度的初步研究.	陈斌,熊盛青,赵百民,地球物理学进展 2010, 25 (3) :957-961.
14	固定翼无人机航磁测量系统的磁补偿问题初探	王婕,郭子琪,乔彦超,地球物理学进展, 2015, 30(6) :2931-2937.
15	Unmanned Aircraft Systems for Rapid Near Surface Geophysical Measurements	International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 2013
16	NEWPLATFORMS-Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing	European Spatial Data research, Official publication No 56
17	Unmanned Air Vehicle Features, Applications and Technologies Version 25	Dr Joseph A. Barnard/Barnard Microsystems Limited
18	Remotely Piloted Aircraft in oil, gas and mineral exploration and production activities	Dr Joseph Barnard/ Barnard Microsystems Limited
19	The use of Unmanned Aircraft in Oil, Gas and Mineral Exploration and Production activities	Dr Joseph Barnard/Barnard Microsystems Limited
20	The Use of Unmanned Aircraft:A New Technical Leap Forward - UAVs	Dr Joseph Barnard/Barnard Microsystems Limited
21	Evaluation of an Unmanned Aircraft for Geophysical Survey	Adam Kroll/ASEG-PESA 2013
22	Unmanned Aircraft Systems	2010-2011 UAS Yearbook - UAS
23	Unmanned Airborne Magnetic and VLF Investigations: Effective Geophysical Methodology for the Near Future	Lev Eppelbaum/Scientific research

## 2.2.2 国内无人机航空磁测的主要技术指标依据

收集了国内近年来主要的无人机航空磁测实际测量结果。到目前为止，以收集 CH-3 固定翼无人机（简称 CH-3）WH-110A 型无人直升机（简称 WH-110A）及 139110km 测线工作量的试验及测量任务的数据，所有测区归纳后实测指标如。通过分析总结以往的国内无人机航空磁测各项技术指标，制定了符合国内无人机航空磁测技术指标，为规范技术指标的制定提供了重要依据。

## 2.2.3 规范重要条款编制说明

### 1 范围

本标准是以满足基础地质调查，能源、金属及非金属矿产地质勘查和水文、

工程、环境地质勘查中的无人机航空磁测为目标，标准所规定的技术设计、系统设备、野外测量与资料提交等方面的技术要求都是围绕这一目标进行编写的。其他目的的无人机航空磁测数据采集工作可参考使用。

## **2 规范性引用文件**

按顺序列出了本标准中引用的 3 个技术标准文件。

## **3 术语和定义**

术语简要地给出了无人机航空磁测常用的基本术语，主要包括：名词介绍、技术术语等。

## **4 总则**

总则简要介绍了目的任务、航空磁测系统、无人机系统、地面控制站等方面的要求。

## **5 技术设计**

技术设计按照施工流程规定了设计编写要素、技术参数设定、工作要求和测量精度确定等内容。在收集资料的基础上，按照任务要求，编写项目设计书。

### **5.1 资料收集与踏勘**

要求在技术设计编写前，应充分收集、分析与工作任务有关的资料，并在收集资料的基础上进行必要的现场踏勘，为技术设计编写提供依据。

### **5.2 测区范围确定**

要求测区范围的选择与确定，既要考虑测量对象的完整性，又要考虑地形、与以往测区衔接和边部效应等，并要考虑测区边界规则。

### **5.3 测区分区**

要求根据地形条件、无人机作业半径及探测目标走向变化等情况统一划分分区，合理控制飞行高度、突出对探测目标测量的地质效果，并考虑分区边界规则，控制短测线数量。

### **5.4 测网布置**

规定了测量比例尺、测线间距、主测线布置及控制线布置的基本原则。

测量比例尺应在考虑测区自然地理、地质、地球物理、无人机、测量仪器和测量方法等因素的基础上，以突出测量效果为主，合理选择测量比例尺。标准按照以上因素分别给出了区域性和综合性、专属性、以勘查油气为主的无人机航空磁测适宜测量比例尺。

给出了测线间距与测量比例尺的对应关系，并对测线加密提出测线间距要求及同一测区不同测线间距数量要求。

说明了主测线布置的基本原则：主测线方向应垂直于或基本垂直于测区内的主要地质构造走向或探测目标的总体走向。

说明了控制线（标准中不再使用切割线的称谓）的用途和设计要求，规定了控制线通常要垂直于测线方向布设，并要求与测线飞行测量保持相一致。

### 5.5 飞行高度

给出了收集到的近年来无人机航空磁测实际测量平均飞行高度统计(表 2-2)，涵盖丘陵、低山、沙漠、高山、海岸带等多种地形，测量比例尺涵盖 1:1 万、1:2.5 万、1:5 万等大比例尺测量，设计飞行高度主要集中于 120~200m，超高百分比最大为 1.54%，并随着应用技术不断成熟超高百分比在不断降低，体现出无人机航空磁测测控在飞行高度控制上的优势。故此，确定标准“5.2 飞行高度”的设计及测线平均离地飞行高度的上限原则上不应超过主测线间距的  $\sqrt{2}/2$  倍,给出在不同地形条件下，设计平均离地飞行高度时，可参照标准中“表 2 不同地形条件下的平均飞行高度”要求。

表 2-2 国内无人机航空磁测平均飞行高度统计表

年度	区域	使用 机型	地形	测量 比例尺	飞行高度		
					设计	实测	超高 百分比
2013 年	多宝山	CH-3	丘陵	1:1 万	180m	180.4m	0.22%
				1:5 万	120m	120.3m	0.25%
2014 年	克拉玛依	CH-3	低山	1:2.5 万	130m	132.0m	1.54%
				1:1 万	120m	120.7m	0.58%
2015 年	喀什	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	180m	182.0m	1.11%
				1:5 万	120m	120.1m	0.08%
2016 年	喀什	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	200m	183.7m	-8.15%
2017 年	墨玉县	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	200m	186m	-7.00%
2017 年	如东县	WH-110A	海岸带	1:5 万	120m	119.0m	-0.83%

给出了飞行高度应在综合分析测区测量目标、地表高程数据、影像解译资料、踏勘结果及无人机的飞行性能等各种因素后通过航迹规划方法给出，经航迹仿真验证后确定的要求。应根据不同测量条件（不同地形条件下、地形特别复杂的地区、测区内地面磁性人文干扰较多时和水域上空等）和不同测量目的（区域性、综合性和专属性矿产航空磁测和油气航空磁测等）采用合适的飞行方式和飞行高

度。

提出了无人机航空磁测可以根据航迹规划及航迹仿真验证结果，统计平均飞行高度和超高比例。飞行高度及超高部分应在设计书中明确规定，并限定超高百分比的设计要求。

给出了测量离地飞行高度的测量误差应小于设计离地高度的 10% 的指标要求。

5.6 航迹规划

给出了无人机航空磁测须对飞行高度进行航迹规划的规定。提出无人机航空磁测航迹规划应以数字高程模型数据、危险点三维坐标和所用无人机的飞行特性为基础，规避飞行安全隐患，实现无人机随地形起伏飞行的目的。离地飞行高度的规划，可采用测线离地飞行高度规划软件来实现（图 2-1）。

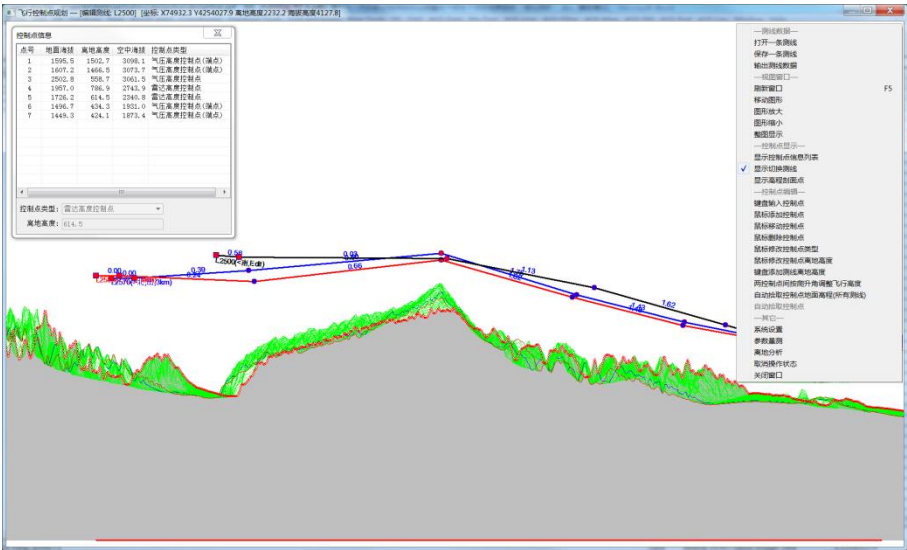


图 2-1 飞行测线离地飞行高度规划软件

规定了无人机航空磁测航迹规划应遵循的原则及航迹规划结果应通过飞行航迹仿真进行评估、验证规划的可行性和正确性要求。

5.7 飞行速度与采样率

数据采集密度主要受航空磁力仪系统的带宽、采样率和测量比例尺的制约。无人机航空磁测作业时，相同航空磁力系统和测量比例尺条件下，测量时的飞行速度是制约采样率的主要因素。作业飞行速度低时，采样率高，航磁数据空间分辨率高；反之，作业飞行速度高时，采样率低。因此，无人机航空磁测应选择低空、低速性能稳定性高的无人机，测量时飞行速度应保持基本一致，以获得稳定

的高空间分辨率的航磁数据。

给出了最低采样率的计算公式，可根据公式设计无人机航空磁测高效率、高采样率的经济飞行速度。

给出了无人机航空磁测较合适的采样率 10 次/s，以及最低采样率要求：原则上，采样间距应小于或等于按测量比例尺制图时图上 1mm 代表的距离数，但最低采样率不应小于 2 次/s。

### 5.8 导航定位及精度

统计了近年来国内无人机航空磁测的平均偏航距（表 2-3），由统计结果可知，平均偏航距在 2.9~14.8 米范围内，定位精度范围为 0.31~1.14 米，故根据统计结果及参考收集到的其他无人机定位指标后，在标准“5.8.2 导航定位精度及偏航距”确定了，“偏航距应小于±30m 或不大于 1/5 主测线线距”及“静态定位精度（均方差）应优于±2m”的指标要求。

表 2-3 国内无人机航空磁测平均偏航距统计表

年度	区域	使用机型	地形	比例尺	平均偏航距 (m)	X 方向精度 (m)	Y 方向精度 (m)
2013 年	多宝山	CH-3	丘陵	1:1 万	14.8	1.10	0.62
				1:5 万	12.8		
2014 年	克拉玛依	CH-3	低山	1:2.5 万	8.2	0.31	0.39
				1:1 万	6.6		
2015 年	喀什	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	3.3	0.43	0.56
				1:5 万	2.9		
2016 年	喀什	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	4.37	0.85	1.14
2017 年	墨玉县	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	3.25	0.51	0.23
2017 年	如东县	WH-110 A	海岸带	1:5 万	0.69	0.478	0.355

表 2-4 国内无人机航空磁测测网疏密度统计表

年度	区域	使用机型	地形	比例尺	全区测网疏密度 m
2014 年	克拉玛依	CH-3	低山	1:2.5 万	250±5.7
2015 年	喀什	CH-3	沙漠/高山区	1:5 万	500±3.2

规定了导航定位应选择满足定位精度要求的卫星导航定位系统或组合导航

定位系统。

导航定位系统的静态定位精度采用不少于 2h 观测数据的静态定位精度（均方差）来衡量，静态定位精度（均方差）应优于 $\pm 2\text{m}$ 。

导航精度以每条测线实际飞行的航迹偏离预定测线位置的距离（即偏航距）衡量。偏航距应小于 $\pm 30\text{m}$  或不大于 1/5 主测线线距。

规定了对连续偏航大于设计偏航距测线的要求，长度大于测量比例尺成图长度 10cm 的测线，应进行补测。补测测线两端与合格测线重复长度不得少于 2km，并且补测测线两端应与控制线相交。

5.9 磁日变观测

5.9.1、5.9.2 阐述进行磁日变观测目的是校正磁日变误差、确定磁场基值、监视磁暴与磁扰发生及其对航磁测量的影响，因此测量期间需同时进行磁日变观测。

5.9.3 规定了磁日变站控制半径及多台磁日变站空间布置的要求，对不能满足布置条件的地区，提出加密控制线以减少昔日变影响的方法。

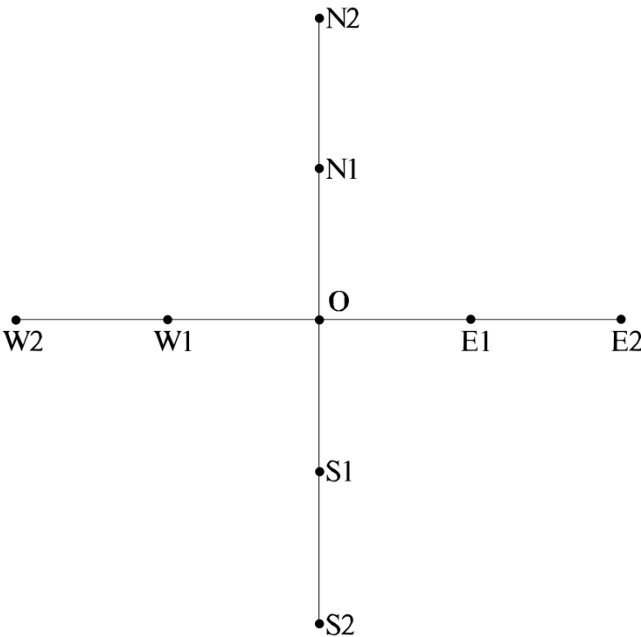


图 2-2 日变选址测量点位置示意图

5.9.4 对磁日变站址的选择提出具体要求，要求对以探头为中心半径 2m 的平面四方位测量 9 点（见图 2-2）磁场值，磁场变化不超过设计均方误差（总精度）的 1/2。并对探头高度和位置及与附属设备距离提出要求。



规定日变观测磁力仪，应选择与航空磁力仪同等测量精度的磁力仪，对采样率提出日变观测采样率宜与航空磁力仪采样率相同，最低采样率不应小于 2 次/s 的建议。并要求设计中确定磁日变采样率、记录方式和噪声水平以及磁日变校正方法和归算方法。

给出磁暴期间，不得进行航空磁测的要求。并对磁暴期间磁日变观测现象给出具体变化现象及应对措施。

#### **5.10 数据收录**

根据无人机航空磁测数据收录特点，规定了数据收录形式及数据收录内容的设计要求。

#### **5.11 无人机磁场补偿**

规定了无人机航空磁测应根据探头安装方式、无人机磁场干扰情况和测量总精度要求，进行飞机磁场补偿。探头以硬架方式安装时，必须进行无人机磁场补偿。

根据中国地质调查局基础部、核工业地质局地质计划处、中国国土资源航空物探遥感中心、核工业航磁遥感中心、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所和冶金地质总局地球物理勘查院，于 2015 年在石家庄召开的“航空物探测量技术交流与研讨会”达成的共识。5.11.3 规定了无人机磁场软补偿的空中取值、补偿方法、补偿流程及动作要求，图 2-3 为设计无人机航磁补偿飞行示意图，图 2-4 为无人机磁补偿及补偿效果验证飞行示意图。

通过无人直升机补偿实验结果及无人机补偿方法调研，丰富了无人机补偿的方法。提出具有悬停能力的无人机可在选定的平静磁场区的空中固定点上，按 5.11.3 要求完成无人机磁场软补偿；条件具备时，可在地面或实验室等理想环境模拟空中补偿方式，如图 2-5 为七一五研究所的航磁补偿模拟装置，按 5.11.3 要求完成无人机磁场软补偿。

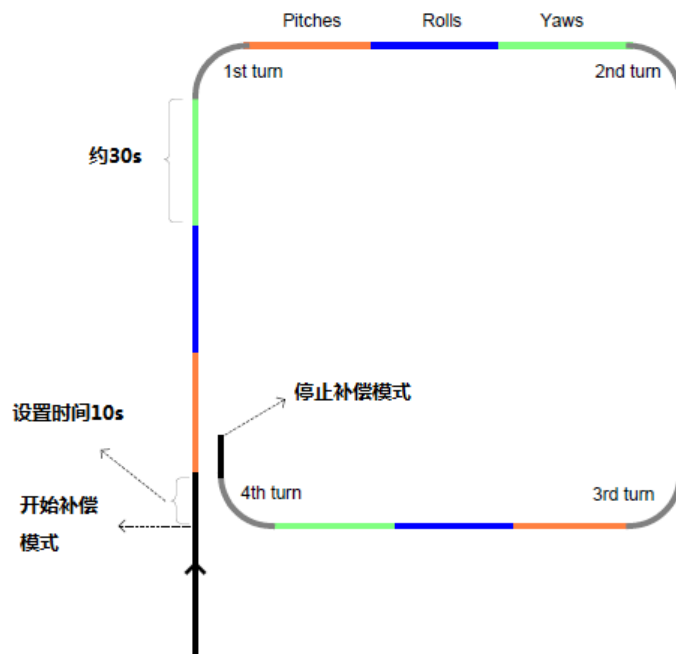


图 2-3 无人机航磁补偿飞行示意图

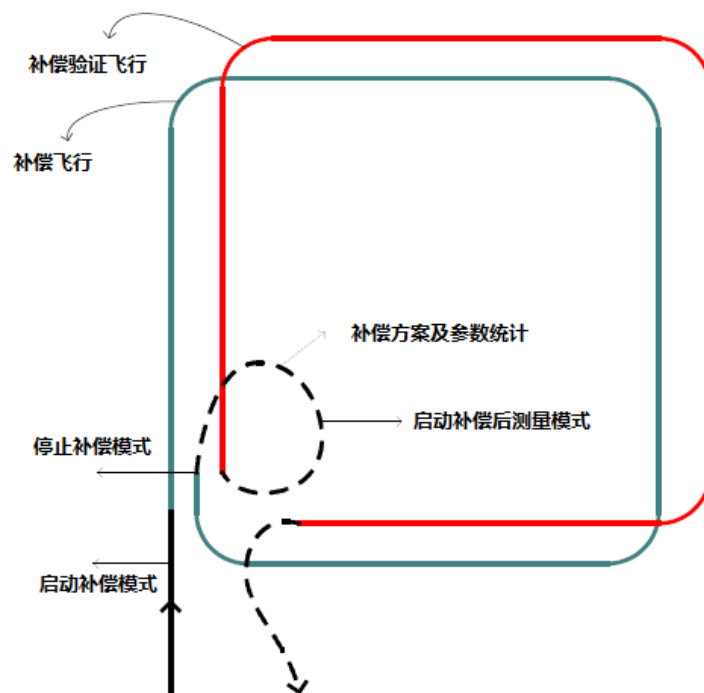


图 2-4 无人机磁补偿及补偿效果验证飞行示意图



图 2-5 航磁补偿模拟装置

统计了历年来内无人机航空磁测补偿结果（表 2-5），根据统计结果，规定采用补偿后的标准差来确定磁软补偿的精度，要求补后标准差优于 0.08nT；改善率可用以衡量磁软补偿对干扰场的去除能力，作为补偿结果的参考。

表 2-5 国内无人机航空磁测补偿结果对比统计表

年代	区域	使用飞机	磁力仪	补偿前标准差 nT	补偿后标准差 nT	改善比	方向差 nT
2013 年	多宝山	CH-3	CS-VL		0.06342	8.12	1.01
2014 年	克拉玛依	CH-3	CS-VL	0.26562	0.01672	15.890	1.02
2015 年	喀什以南	CH-3	CS-VL	0.56278	0.01671	33.672	0.33
2016 年	喀什以南	CH-3	CS-3	0.56546	0.01429	39.571	0.21
2016 年	喀什	CH-3	CS-VL	0.47343	0.02153	21.987	0.29
2017 年	墨玉县	CH-3	CS-3	0.30945	0.01750	17.683	0.90
2017 年	如东县	WH-110A	CS-VL	0.39766	0.04690	8.479	0.10

规定无人机磁场的补偿资料、数据及达到的精度值，应作为原始资料验收并保存。

## 5.12 航磁测量总精度的衡量与误差分配

规定设计中应按任务要求规定航空磁测总精度。给出误差分配原则及 5.12.3

航空磁测相对测量（ $\Delta T$ ）设计的总精度（ $\sigma_{\Delta T}$ ）的计算公式。

## 5.13 设计编写与审批

规定了设计书编写依据；设计书经项目任务下达单位评审并批准后，方可实施；设计变更时，应及时与设计审批单位协商，设计变更经批准后方可实施。

## **6 系统设备**

### **6.1 系统设备组成**

按照目前国内无人机航空磁测的标准配置，组成无人机航空磁测测量系统。根据无人机测量系统特点分为空中和地面两部分组成。

空中部分由航磁测量系统和无人机等组成；地面部分由地面控制站、磁日变测量系统和野外数据预处理系统等组成。

### **6.2 无人机系统选择**

根据调研及收集的用于无人机航空磁测的无人机平台资料结合航空磁测任务及质量要求，在无人机应具备主要部件及设备、安全可靠、改装需求、续航时间、通讯、远程控制能力及自主飞行能力、安全措施等方面，规定了用于航空磁测的无人机选取的一般要求。

### **6.3 航磁测量系统**

6.3.1 如图 2-6 所示，航磁测量系统主要包括航空磁力仪、航磁补偿器、导航定位系统、飞行高度测量设备（如气压高度计、雷达高度计等）、数据收录设备及相关辅助设备。

6.3.2 仪器设备检测部分，规定航空磁力仪、航定位设备、飞行高度测量设备、数据收录设备等在无人机上安装之前，须进行检查验收并记录，给出了检测内容、要求及相应指标，达到要求后，方可进行安装。并编制了检测记录参考表格附录表 B.1、附录表 B.2。

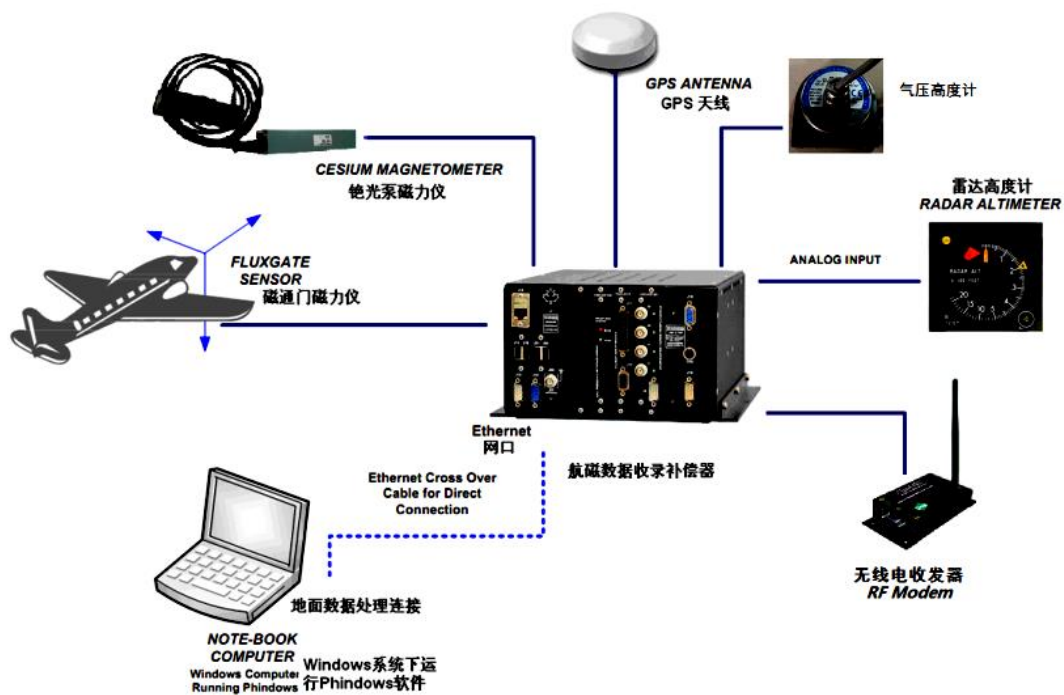


图 2-6 无人机航磁测量系统组成

6.3.3 仪器设备安装要求，结合多年来国内外无人机航空磁测的经验，并考虑固定翼、旋翼无人机航空磁测的特点，规定了航空磁力仪系统探头、磁场软补偿的姿态传感器、导航定位系统的安装方式和基本要求。

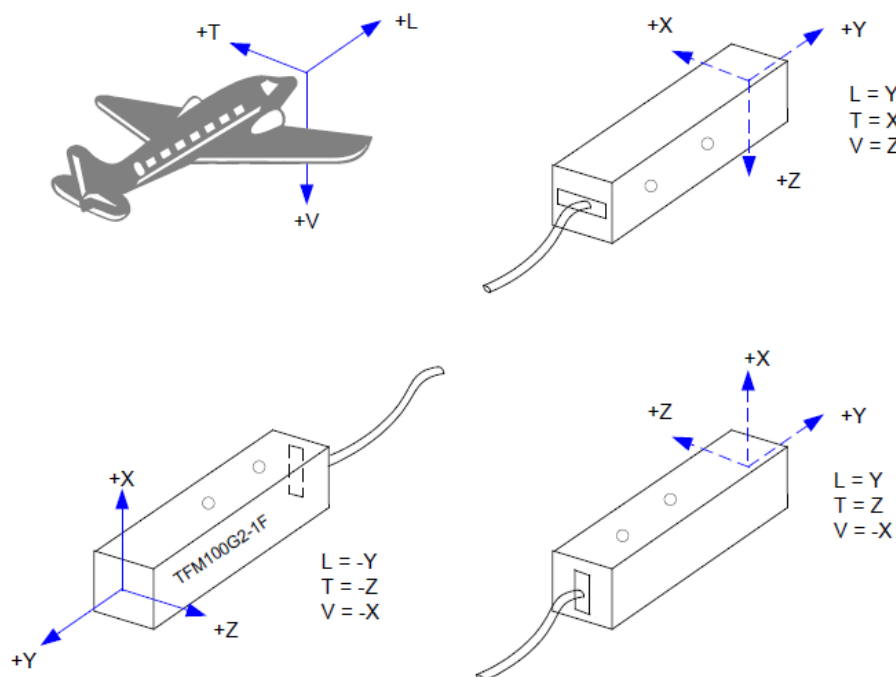


图 2-7 补偿仪姿态传感器安装方向

航空磁力仪系统探头的安装，分别对硬架安装的探头安装位置、固定用无磁材料、机械强度及软吊挂安装时的软吊电缆长度及材料给出了相应的安装要求。要求安装前应对无人机磁干扰场分布情况分别进行静态和动态测量，为探头安装位置的选择提供科学依据，必要时应对无人机机体进行弱磁化处理。要求对有安装角度限制的磁力仪探头选择最佳安装角安装。对探头附件的紧固件安装时禁止使用带磁性的工具。

对补偿仪姿态传感器安装位置及安装角度给出相应要求，用于无人机磁场软补偿的姿态传感器应装在磁场平稳、梯度变化小、姿态变化与飞机机身一致、检修方便的位置；姿态传感器 X、Y、Z 三轴的向轴应与飞机机身横向、纵向及垂向轴基本平行，如图 2-7。

导航定位系统安装要求：第一，要求外部安装时，要求天线安装位置要求通视条件良好，避免机体或其他设备遮挡。第二，与无人机系统共用导航定位系统时，应采用必要措施抑制系统间电磁干扰；采用独立的导航定位系统时，应适当增大天线间距，或使用不同频段，避免相互间的干扰。

#### **6.4 地面控制站**

地面控制站是用于无人机机载航磁测量与指挥的设备，相对于有人机航空磁测，地面控制站是无人机航空磁测的特有设备，对航空磁测的设备安全、数据采集、测量质量等起到十分重要的作用。

规定了无人机地面控制站的主要仪器设备组成。规定无人机航空磁测应根据任务需求确定无人机测控系统的具体组成，明确数据链和测控站的具体类型。

对地面控制站的任务规划、飞行控制、远程控制、航迹与状态参数的显示、航空磁测信息显示等主要功能，给出主要内容及相关要求。

#### **6.5 磁日变测量系统**

磁日变基站由磁力仪、数据收录设备、可授时的导航定位系统、稳压电源（或直流电瓶）组成。将可授时的导航定位系统作为必备设备，主要用于同步航磁及磁日变数据采集时间。

规定仪器设备检测与安装要求。检查内容与航磁测量系统 6.2.2.1、6.2.2.2 及 6.2.2.4 相同。选址及架设磁日变观测系统要符合技术设计 5.9.4 要求，填写磁日变基站选址记录表，参考附录表 B.4。要求仪器主体与稳压电源间电线长度大于 5m，当使用直流电瓶供电时，直流电瓶与探头之间应大于 3m，且位置相对固

定。

## **6.6 野外数据预处理系统**

规定野外数据预处理系统由数据预处理专用计算机、处理软件、打印与绘图设备组成。

规定了野外数据预处理系统的安装与检测要求。

## **7 野外测量**

根据无人机航空磁测野外测量实施的实际流程及需要,将野外测量部分分为九大部分内容编写,分别是:7.1 开工前的仪器准备、7.2 测线飞行前的准备、7.3 测量飞行、7.4 磁日变观测、7.5 设备检修与维护、7.6 原始资料编录、7.7 原始资料现场检验、7.8 航磁局部异常检查、7.9 岩(矿)石标本采集与磁性参数测定。

### **7.1 开工前的仪器准备**

开工前的仪器准备是进行无人机航空磁测野外生产测量飞行前对无人机平台、航空磁测系统、地面控制站及机载其他设备等仪器设备测试与试验,是确保野外测量任务实施的必备步骤。

#### **7.1.1 试飞**

为在确保航空磁测系统设备安全的前提下获取载荷装载后无人机的飞行状态,应在无人机上对应置安装与真实载荷等重的配重模块,进行装载模拟载荷试飞试验,试飞试验主要内容如下:

- a)自主起降飞行试验。
- b)低空、超低空飞行试验。
- c)机动性能飞行试验。
- d)测区飞控及链路飞行试验。

#### **7.1.2 航空磁测系统静态测试**

要求航空磁力测量系统及配套设备在 6.2.3 要求进行安装、调试后,应通电检查仪器系统整体技术性能指标,确定飞行控制系统、航磁远程测控系统链路是否畅通,导航定位系统、收录系统、数据下载传输工作是否正常;航磁仪远程测控系统应按说明书对其数据采集与存储、磁力仪远程测控、数据图形显示和数据质量监测等主要功能运行情况进行检查。并完成不少于 2h 的地面静态测量测试,检查航空磁力仪静态噪声、导航定位系统定位精度及各仪器工作情况,编制系统验收表,附录表 B.3 给出了系统验收表的设计模板。

### 7.1.3 磁日变测量系统静态测试

根据要求完成磁日变观测系统选址及安装后,须完成不少于 24h 连续观测试验,判定拟建立磁日变站周围磁环境干扰的大小和频次,统计静态噪声、确定磁日变基值。

### 7.1.4 地面控制站布置

测控站布置应在考察测区内地形、地貌、人文等情况的野外实地踏勘基础上,根据所选系统的通视距离、测区大小、无人机起降场与测区的距离,结合飞行安全、测量效率等因素合理制定地面控制站的布设方案。在条件允许的情况下,优选最大测控范围站点为布设原则,并可根据实际工作任务需要,可适当增设测控站点,编制地面控制站选址及测试记录表,参考附录表 B.5

### 7.1.5 雷达高度计校准

表 2-6 雷达高度校正参数计算示意表

测试线号	设计离地高度 m	原始雷达高度 m	GPS 高度 m	地表高程 (DTM) GPS 高度-雷达高度 m	GPS 离地高度 GPS 高度-平均 DTM m
S1	25.00	24.91	144.92	120.01	58.70
S2	40.00	38.22	152.99	114.77	66.77
S3	70.00	69.91	160.85	90.94	74.63
S4	80.00	79.88	161.93	82.05	75.71
S5	90.00	91.34	168.23	76.89	82.01
S6	100.00	101.97	173.83	71.86	87.61
S7	140.00	139.84	186.86	47.02	100.64
S8	190.00	186.98	206.38	19.40	120.16
S9	200.00	201.54	214.26	12.72	128.04
S10	240.00	236.06	220.49	-15.57	134.27
S11	260.00	257.42	229.79	-27.63	143.57
S12	300.00	298.48	242.46	-56.02	156.24
S13	300.00	303.9	241.94	-61.96	155.72
S14	300.00	305.33	242.17	-63.16	155.95
S15	350.00	356.97	262.61	-94.36	176.39
				平均 DTM: 86.22	



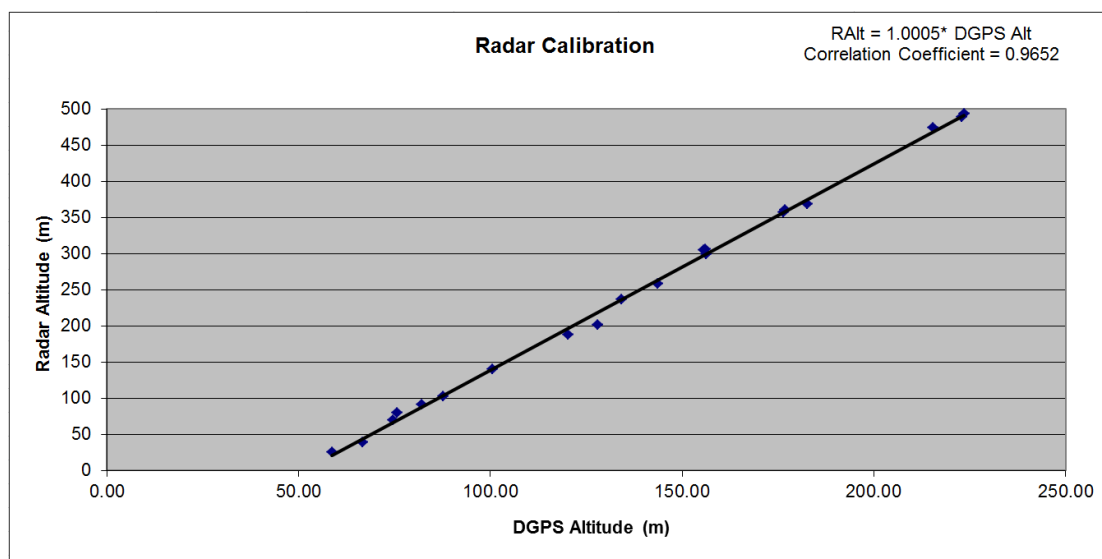


图 2-8 雷达高度校正参数计算示意图

雷达高度计是无人机实现低高度随地形起伏飞行的必备设备，无人机飞控系统通过雷达高度计所测高度与设计高度对比来自动调节、修正飞机姿态，确保飞行高度满足设计要求。

标准参考 EJ/ 1032-2005《航空伽马能谱测量规范》并根据实际试验结果（表 2-6、图 2-8），规定以输出电压作为高度数据的雷达高度计，应进行雷达高度计校准飞行，求得输出电压和离地高度之间的换算系数。并对校准飞行做出以下要求：

（1）应在地形平坦地区进行。

（2）校准飞行时应选择 60m、90m、120m、150m、210m、240m、300m 等高度进行校准飞行，在设计平均飞行高度附近可适当缩小校准高度间隔。

（3）每个高度飞行两次，每次飞行时间应大于 1min。

（4）校准飞行中飞行高度变化应不大于  $\pm 5\%$ 。

#### 7.1.6 气压高度计校准

气压高度控制方式是无人机飞行高度控制的方式之一，无人机飞控系统利用气压与高度的关系，通过观测气压测量飞机飞行海拔高度（又称绝对高度），并将气压高度与设计高度比较，自动调节飞机姿态，将飞行高度校正到设计高度。

标准规定以输出电压作为高度数据的气压高度计，应进行气压高度计校准飞行，求得输出电压和气压高度之间的换算系数。并对校准飞行做出以下要求：

（1）校准飞行高度应根据所用无人机升限及测区海拔高度情况选择确定。

(2) 每个高度飞行时间应大于 10min，飞行高度变化应不大于 60m。

#### **7.1.7 磁补偿飞行**

标准要求在进行测线测量飞行前，需按照 5.11 条款完成无人机磁场补偿并达到相应的要求。并对磁补偿飞行做出如下要求：

(1) 按 5.11.3 要求设计无人机磁场补偿流程及航线规划，并对所规划航线进行模拟仿真。

(2) 须在磁场变化最大不超过 200nT 的平静磁场区域内进行。

(3) 在无人机进行检修如更换发动机或飞机上其他铁磁性部件、或更换探头或更换补偿仪时，须重新补偿。在测量过程中发现补偿失效时，应检修系统，排除故障后重新进行补偿。

(4) 进行磁补偿时须做磁日变观测并做相应的记录，以确定是否是静磁日。

#### **7.1.8 方向差检查飞行**

标准要求磁补偿飞行达到要求后，可采用十字交叉线方式进行方向差检查飞行。并对方向差检查飞行要求如下：

(1) 方向差检查飞行需在平静磁场区域进行。

(2) 飞行方向分别与主测线方向和控制线方向一致。

(3) 各方向飞行不少于 2 次。

(4) 测试飞行时应记录磁日变数据。

### **7.2 测线飞行前的准备**

标准要求无人机航空磁测测线测量飞行前需要做好测线规划与放飞前的准备工作，确保测量飞行顺利实施。

#### **7.2.1 测线规划**

(1) 规定了测线规划设计要求及航路点要求，且经检查无误后方可交于机组使用。

(2) 规定了任务书的内容和下达的时间，明确了标准编写组人员与机组人员的相应责任，飞行任务书内容参考附录表 B.6。

(3) 规定了机组应根据飞行任务书制定合理的飞行计划。并根据飞行计划须进行航迹仿真，通过检验后用于无人机自主飞行测量。

#### **7.2.2 放飞前的准备**

规定了放飞前操作人员应检查的事项和职责。要求地面启动无人机，系统工作正常方可下达放飞指令。

### **7.3 测量飞行**

分别规定了基线测量飞行、测线测量飞行、控制线测量飞行、重复线测量飞行等测量飞行的测量要求、操作过程、注意事项、故障应对措施等具体要求。

#### **7.3.1 基线测量飞行**

规定当使用的航空磁测系统有测量精度不允许的零点漂移,应进行基线测量。并对基线设计、飞行及变更给出相应要求。

#### **7.3.2 测线测量飞行**

(1) 规定无人机应按照规划的航迹进行测量飞行,地面测控人员应严格遵守操作规程,并填写飞行报告(参考附录表 B.7)、测量工作记录表(参考附录表 B.8)等记录表格。

(2) 对测线中的危险点的越障方式提出具体要求,不提倡手动避障;并对特殊情况下必须手动避障飞行给出飞行规定。

(3) 规定测线分段测量飞行时的测量方式及接线要求。

(4) 要求测线测量飞行中,地面测控人员和磁日变观测员把控数据质量,对问题测线应重新测量。

(5) 明确无人机空地通讯失联情况、机载航磁系统故障、影响飞行安全的任何故障发生或磁日变观测系统故障的应对措施。

(6) 规定执行航空磁测任务过程中,若发现有意义的局部异常时,为获得详细异常特征,可加密测线。

#### **7.3.3 控制线测量飞行**

规定了控制线测量飞行的与测线测量飞行相同、并尽量与测线上离地飞行高度接近,在一个测区使用多套无人机航空磁测系统作业时,尽量使用测量工作状态较好的一套完成全区控制线测量等要求。

#### 7.3.4 重复线测量飞行

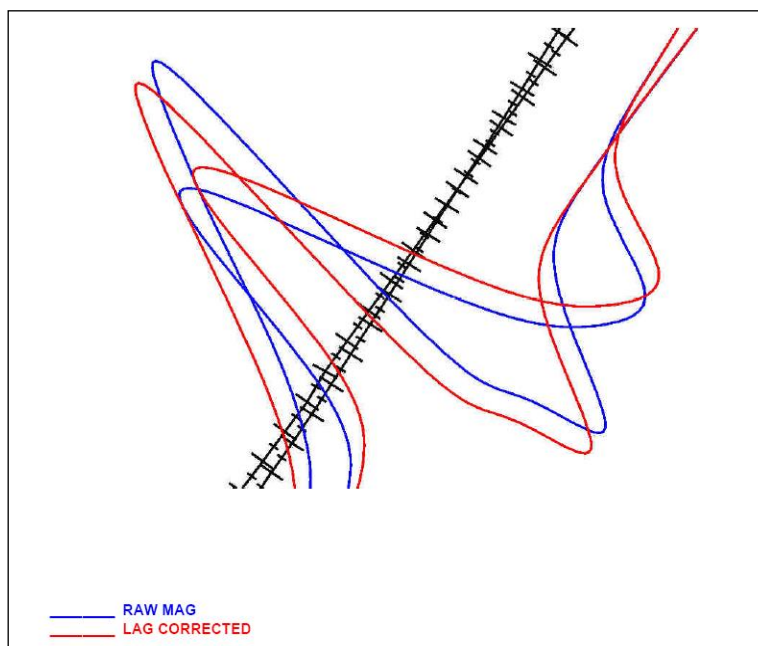


图 2-9 反向重复线测试飞行示意图

明确了重复线测量的目的，规定了重复线飞行的工作量、航迹、离地飞行高度及飞行方向等要求。图 2-9 为反向重复线飞行实测航迹及数据示意图，图中可看出反向重复线飞行明显存在滞后现象，故此，规定需做相同飞行高度的反向的重复线测量飞行，用于检查并纠正测量系统的滞后现象。

#### 7.4 磁日变观测

规定了日变测量系统采样时间及授时要求；明确了观测人员注意事项、记录要求及观测时间要求，并编制了“表 B.9 无人机航空磁测日变记录表。”

#### 7.5 设备检修与维护

规定了测量设备在野外测量期间及野外停飞期间的定期检测、维护及记录要求。

#### 7.6 原始资料编录

规定了每个有效架次测量飞行结束后，应提交的原始资料内容；明确了编录内容应包括的信息及测线号的排序方式。并要求记录内容填写要完整、准确，及时对原始数据进行存储并备份。

#### 7.7 原始资料现场检验

规定了测试检验评价、数据预处理与质量评价、原始资料验收的内容。

##### 7.7.1 测试检验评价

规定对标准“6.2.2 仪器设备检测”内容进行质量评价，评价要求如下：

表 2-7 国内无人机航空磁测静态噪声统计表

年代	区域	磁力仪	静态噪声				
			平均	0-80pt	80-140pt	140-200pt	> 200pt
2013 年	多宝山	CS-VL	18.07pT	99.11%	0.69%	0.20%	
2014 年	克拉玛依	CS-VL	8.57pT				
2015 年	喀什以南	CS-VL	6.084pT				
2016 年	喀什	CS-VL	0.046 pT	100%			
2017 年	墨玉县	CS-3	1.522pT	100%			
2017 年	如东县	CS-VL	1.902pT	100%			

(1) 根据对历年国内无人机航空磁测静态噪声记过统计, 见表 2-7, 确定了静态噪声水平的分级评价指标, 要求对航空磁力仪系统地面静态测试后的静态噪声进行分级评价, 并规定航空磁力仪系统地面静态噪声水平达不到一级要求时, 测线测量资料不得评为一级。

(2) 要求导航定位系统地面静态测试后的导航定位系统静态定位精度进行评价, 并应符合 5.8.2.1 要求。

(3) 要求计算航磁补偿后精度 (标准差), 航磁补偿后精度 (标准差) 应优于  $\pm 0.08\text{nT}$ , 补偿后剩余方向差应小于  $1.0\text{nT}$ 。

(4) 要求计算日变静态噪声水平, 并应达到一级 ( $\leq 0.01\text{nT}$ ) 要求。

### 7.7.2 数据预处理与质量评价

规定对每架次的数据进行预处理, 并进行相应的质量评价。评价方法与 DZ/T 0142-2010《航空磁测技术规范》相同, 故该节计算公式参见 DZ/T 0142-2010 的相应公式。

(1) 使用飞行时收录的定位数据绘制航迹。统计每架次 (测量工作完成时, 计算全测区) 的平均偏航距和各偏航距分组出现的频数所占百分比, 用于评价导航质量。

(2) 统计每架次 (测量工作完成时, 统计全测区) 测线飞行时的平均离地高度和各离地高度分组出现的频数所占百分比, 检查飞行高度质量是否符合设计要求。计算公式参见 DZ/T 0142-2010 的 8.3.4。

(3) 统计历年来国内无人机航空磁测动态噪声, 见表 2-8, 根据统计结果确定了无人机航空磁测动态噪声计算方法及评价指标。

表 2-8 国内无人机航空磁测动态噪声统计表

年代	区域	使用飞机	磁力仪	测量方法	动态噪声			
					0-80pt	80-140pt	140-200pt	> 200pt
2013 年	多宝山	CH-3	CS-VL	磁	85.77%	9.31%	0.95%	3.97%
				磁/放	65.54%	10.05%	9.62%	14.79%
2014 年	克拉玛依	CH-3	CS-VL	磁/放	96.37%	3.62%		
2015 年	喀什以南	CH-3	CS-VL	磁/放	99.19%	0.81%		
2016 年	喀什	CH-3	CS-VL	磁	98.01%	1.29%	0.34%	0.36%
2017 年	墨玉县	CH-3	CS-3	磁	100%			
2017 年	如东县	WH-110A	CS-VL	磁	100%			

统计航空磁力仪系统动态噪声水平，按 0.5s（或等效为 0.5s）采样间隔，取整条测线数据（舍掉水平梯度 $>0.6\text{nT/m}$ 的测点值）计算  $S_i$  值（计算公式见 DZ/T 0142-2010 的 8.3.3），用以评价每条测线的航磁测量数据质量，要求达到设计要求，因飞行高度较低或地面干扰造成航磁动态噪声达不到要求时，可采用每架次早晚基线进行评价。动态噪声评价分级如下：

一级： $S_i \leq 0.08\text{nT}$ ；

二级： $0.08\text{nT} < S_i \leq 0.14\text{nT}$ ；

三级： $0.14\text{nT} < S_i \leq 0.20\text{nT}$ ；

四级： $S_i > 0.20\text{nT}$ （为不合格资料）。

（4）计算数据收录错误点出现次数，统计误（漏）码率（小于 1%为合格），检查采样点号和时间连续性。

（5）将磁日变数字记录数据，依据记录噪声峰峰值的包络线幅值大小评价磁日变资料质量。评价分级如下：

一级：包络线幅值 $\leq 0.10\text{nT}$ ；

二级： $0.10\text{nT} < \text{包络线幅值} \leq 0.15\text{nT}$ ；

三级： $0.15\text{nT} < \text{包络线幅值} \leq 0.20\text{nT}$ ；

四级：包络线幅值 $> 0.20\text{nT}$ （为不合格资料）。

### 7.7.3 原始资料验收

要求原始资料须进行野外标准编写组自检、互查，项目负责人和技术管理部门验收三级检查；原始资料验收通过后，才能申请调机。

## 8 资料提交

原始数据通过验收后,应尽快整理相关资料、及时提交。提交主要资料包括:

- a) 任务书、设计书等相关资料;
- b) 全部原始资料;
- c) 数据预处理报告。

### 附录 A (资料性) 无人机航空磁测数据采集工作设计编写提纲

作为资料性附录给出了无人机航空磁测数据采集工作设计书编写提纲。

### 附录 B (资料性) 无人机航空磁测数据采集工作用表

资料性附录中,表 B.1~表 B.9 分别规定了无人机航空磁测数据采集工作中仪器性能检测、测量系统验收、磁日变基站选址、地面控制站选址及测试、飞行任务下达、飞行报告、测线飞行、磁测日变等过程记录表。

## 三、主要试验(或验证)的分析和预期的经济效果

### 3.1 主要实验分析

本标准制定过程中的试验分析主要是系统设备及测量指标部分。通过近年来对无人机航空磁测技术的应用示范及野外测量,编制了无人机航空磁测技术的“仪器探测能力测试方案”、“无人机航磁作业指导书”、“无人机航磁测量标定及试验飞行要求”及“CH-3 无人机航磁系统应用技术指南”等指导性文件,为本标准的制定提供了坚实的验证分析基础。

本标准制定标准编写组成员均从事航空物探研究工作,在无人机航空磁测技术设计、仪器安装、数据采集、资料解释等领域有着丰富的工作经验及理论基础,在工作实践中不断修改和完善技术标准,既保证了标准制定过程中不会脱离工作实际,又能够促进和改善无人机航空磁测技术研究工作。

### 3.2 预期的经济效果

新编制的《无人机航空磁测数据采集技术要求》填补了无人机航空磁测技术标准的空白,预计《无人机航空磁测数据采集技术要求》的实施,对加强地质勘查项目技术管理、统一测量工作的作业要求、保证成果质量等方面均能起到积极

的促进作用，有利于地质勘查工作的质量管理与技术统一。为无人机航空磁测提供符合技术现状的规程化标准，亦能促进无人机航空磁测技术的推广应用，为科研、教学或其它部门在制定相关技术标准提供必要的技术借鉴，对于我国经济社会的发展及地质勘查工作的科学化管理具有重要的现实意义。

## **四、采用国际标准和国外先进标准的程度**

国际上目前仍没有航空磁测技术标准，国内目前也没发布相关的标准。因此本标准没有引用国际标准的相关内容。

## **五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系**

本标准为新制定标准，与现行相近的标准体系兼容，标准内容符合国家有关标准化工作的法律、法规和方针、政策要求，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。

## **六、重大分歧意见的处理经过和依据**

### **6.1 重大分歧意见**

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）标准的名称及内容**

标准编制过程中，专家根据征求意见稿内容，提出将“无人机航空磁测技术规范”名称修改为“无人机航空磁测技术要求”、“无人机航空磁测数据获取技术要求”、“固定翼无人机航空磁测技术要求”等名称的建议，并调整、删减标准文件内容

#### **（2）固定翼与旋翼无人机**



因固定翼与旋翼无人机飞行方法有较大不同，标准应分别给予不同的要求。

### （3）无人机航磁磁测补偿方法及动作要求

无人机补偿动作、飞行高度等具体指标存在较大分歧。

## 6.2 处理经过和依据

经过几次会议讨论，以及实际的测试验证的结果，最终分歧问题达成一致：

### （1）标准的名称

2018年9月12-13日召开的《无人机航空磁测技术规范》（送审稿）审查会上，专家组建议将标准名称修改为《无人机航空磁测数据采集技术要求》，标准编写组根据意见要求调整、删减标准文件内容，形成《无人机航空磁测数据采集技术要求》（报批稿）。按照《无人机航空磁测数据采集技术要求》（报批稿）内容编写需要，删除“8 数据处理与图件编制”、“9 资料推断解释”、“10 成果报告编写与资料提交”等章节内容，新增“8 资料提交”章节内容。

### （2）固定翼与旋翼无人机

标准编写组经收集资料分析与实践经验，验证了旋翼无人机能达到固定翼无人机同等精度要求，为规范行业准入标准，不特别将无人机按固定翼与旋翼进行分类，只提规定具体技术要求。

### （3）无人机航磁磁测补偿方法及动作要求

无人机相对于有人驾驶飞机在动作的幅度有较大限制，标准编写组根据多年无人机航空磁测试验、生产经验，将5.11节中做出“合框各边飞行，每条边分别做横滚（ $\pm 10^\circ$ ）、俯仰（ $\pm 5^\circ$ ）、侧滑（ $\pm 5^\circ$ ）三组机动动作，每组动作3~5次，或根据无人机最大机动能力确定补偿动作幅度。”的要求。对于补偿中的飞行高度，一致认为高高度飞行是为了减少地磁场的影响，“矩形或菱形闭合框应选在平静磁场区（磁场变化最大不超过200nT）”对平静磁场区（磁场变化最大不超过200nT）进行要求即可，不对飞行高度进行特殊要求。

## 七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

本标准是针对基础地质调查、油气与矿产资源勘查的无人机航空磁测数据采

集工作，所以建议作为自然资源行业推荐性技术标准颁布实施。

## **八、贯彻标准的要求和措施建议**

为推动标准宣贯，建议标准发布后，由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会提请有关业务主管机构，适时组织标准贯标工作，推动该标准的贯彻实施。

## **九、废止现行有关标准的建议**

《无人机航空磁测数据采集技术要求》是新制定的技术标准，故不存在废止现行有关标准。

## **十、其他应予说明的事项**

无。