

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

无人机航空磁测数据采集技术要求

Technical Requirements for aeromagnetic data acquisition of unmanned aerial
vehicle

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	III
引言	IV
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 目的任务	2
4.2 航空磁测系统	2
4.3 无人机系统	2
4.4 地面控制站	2
5 技术设计	2
5.1 资料收集与踏勘	2
5.2 测区范围确定	3
5.3 测区分区	3
5.4 测网布置	3
5.5 飞行高度	4
5.6 航迹规划	5
5.7 飞行速度与采样率	5
5.8 导航定位及精度	6
5.9 磁日变观测	6
5.10 数据收录	6
5.11 无人机磁场补偿	7
5.12 航磁测量总精度与误差分配	7
5.13 设计书编写与审批	7
6 系统设备	8
6.1 系统设备组成	8
6.2 无人机系统选择	8
6.3 航磁测量系统	8
6.4 地面控制站	9
6.5 磁日变测量系统	10
6.6 野外数据预处理系统	10
7 野外测量	11
7.1 开工前的仪器准备	11
7.2 测线飞行前的准备	12
7.3 测量飞行	12
7.4 磁日变观测	13
7.5 设备检修与维护	14

7.6 原始资料编录.....	14
7.7 原始资料现场检验.....	14
8 资料提交.....	15
附录 A（资料性） 无人机航空磁测数据采集设计书编写提纲.....	16
附录 B（资料性） 无人机航空磁测数据采集工作用表.....	19
参考文献.....	28

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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本文件起草单位：中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。

本文件主要起草人：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。

引 言

无人机航空磁测具有高效、灵活、全天时等优点，尤其对于地形复杂、能见度差等地区的大比例尺航空磁测效果更佳。近年来，该方法已在我国能源、金属与非金属矿产资源勘查等多个领域得到了广泛应用，并发挥了重要的作用。但目前尚没有无人机航空磁测的技术标准要求。为进一步规范我国无人机航空磁测的数据采集工作，中国地质调查局地球物理地球化学勘查研究所在总结无人机航空磁测工作成果和实践经验的基础上，参考相关技术标准编制了本文件。

本文件对指导无人机航空磁测数据采集工作，提高无人机航空磁测的工作质量和应用水平都具有重要的意义和作用。

无人机航空磁测数据采集技术要求

1 范围

本文件规定了无人机航空磁测数据采集的技术设计、系统设备、野外测量及资料提交等方面的技术要求。

本文件适用于基础地质调查，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数据采集工作，其他目的的无人机航空磁测工作可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中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。

DZ/T 0142-2010 航空磁测技术规范

3 术语和定义

3.1

无人机 unmanned aerial vehicle

由遥控设备或自备程序控制装置操纵，带任务载荷的不载人航空器。

3.2

无人机航空磁测系统 unmanned aerial vehicle aeromagnetic system

以无人机(3.1)为搭载平台、以航空磁力仪为主要测量设备的地磁场强度模量值测量系统。

3.3

无人机航空磁测 unmanned aerial vehicle aeromagnetic total field survey

使用无人机航空磁测系统(3.2)测量地磁场强度模量值的航空物探方法。

3.4

地面控制站 ground control station

在地面具有对无人机(3.1)飞行和机载航磁测量系统进行监控和指挥能力，包含对无人机(3.1)发射和回收控制的一组设备。

3.5

数据链 data link

由用于无人机(3.1)遥控、遥测、测距测角及任务载荷信息（载航空磁测设备）传输的数据终端和数据通信规程建立的数据通信网络。

3.6

航迹仿真 track simulation

在地面利用软件进行的无人机(3.1)飞行控制、任务控制、链路控制和特殊情况处置及任务环境模拟的测试手段。

4 总则

4.1 目的任务

通过开展无人机航空磁测数据采集工作获取航空磁测数据,为研究、解决基础地质调查,能源、金属及非金属矿产地质勘查和水文、工程、环境等地质勘查,提供航空磁测数据资料。

4.2 航空磁测系统

4.2.1 无人机航空磁测应使用灵敏度优于 $\pm 0.01\text{nT}$ 的航磁测量系统,以获取高质量的航磁测量数据。

4.2.2 磁探头采用硬架方式安装时,必须进行无人机磁场补偿,补偿精度应满足测量精度要求。采用软吊挂方式安装时,软吊电缆长度应保证飞机干扰场小于设计的误差要求,以满足系统测量精度。

4.3 无人机系统

4.3.1 用于航空磁测的无人机系统应配备远程测控系统,并满足搭载航磁测量系统的空间与载荷要求,具备低飞、航迹保持、自主飞行等能力。

4.3.2 用于航空磁测的无人机系统应在取得管制测量区域空域的相关部门许可后,在满足无人机安全飞行的气象条件下执行测量任务。

4.4 地面控制站

地面控制站架设位置应满足无人机远程测控的通视要求;飞行测量前应进行航空磁测系统静态测试、测线规划、航迹仿真、放飞检查等工作,以保证飞行安全和测量质量。

5 技术设计

5.1 资料收集与踏勘

5.1.1 资料收集与分析

编写技术设计前,应充分收集下列与工作任务有关的资料,并进行分析研究,为测区范围的确定、测线布置、测线规划、地面控制站和磁日变基站选址等工作提供依据,主要包括:

- a) 测区、邻区或其他条件相似地区与目的任务相关的地质、物探、化探、遥感、矿产勘查等资料;
- b) 测区地形地貌、高大障碍物分布情况、交通、气象和人文等资料;
- c) 测区内可用于航迹规划和航迹仿真的数字高程模型数据,数据网格间距应小于 $1/3$ 测线距,垂向精度应优于设计飞行高度的20%;
- d) 其他资料。

5.1.2 现场踏勘

在收集资料的基础上,应进行现场踏勘,核实以下内容:

- a) 测量区域空域管理相关部门、空中禁区、作业机场、夜航条件、无人机作业保障条件;

- b) 测区交通条件、测控站布置条件、气候变化及生活保障等；
- c) 根据已知资料了解、采集危险点坐标。

5.2 测区范围确定

5.2.1 测区选择原则

无人机航空磁测测区选择应遵循以下原则：

- a) 区域性和综合性无人机航空磁测测区，应保证构造单元和异常的完整性；
- b) 专属性矿产无人机航空磁测测区，应选择在与目标矿产有关的成矿远景区带内，应包括部分邻近典型已知矿床；
- c) 油气无人机航空磁测测区，应选在寻找油气资源的远景区内；

5.2.2 测区范围确定原则

无人机航空磁测测区范围的确定应遵循以下原则：

- a) 根据工作任务及工作量要求，充分考虑测区的地质、矿产、探测目标物与围岩物性差异及以往的物化遥工作程度等因素综合确定；
- b) 测区范围应大于解决的地质问题所涉及的范围，应注意构造单元和异常的完整性；
- c) 测区范围应结合地形地貌，限制飞行区域及危险点分布情况，无人机的机动性能、测控方法及测控站布置、通视、覆盖情况综合确定；
- d) 测区边界应尽量规则，与相邻高精度或同精度测量的测区重复 2 条~3 条测线距的宽度，测线两端应与相邻高精度或同精度测量的测区原则上重复 1km~2km，以保证相邻测区工作成果的拼接完整性。

5.3 测区分区

可根据地形条件、无人机作业半径及探测目标走向变化等情况统一规划分区：

- a) 测区地形情况差异较大时，可根据地形切割程度及无人机机动性能，合理规划不同飞行高度分区区块；
- b) 测区内主要地质构造走向或勘查目标的总体走向变化较大，需布设不同方向主测线时，可根据主测线方向规划分区；
- c) 分区形态应尽量规则，控制短测线数量。

5.4 测网布置

5.4.1 测量比例尺

5.4.1.1 测量比例尺一般根据工作任务、探测对象大小、测区地形条件、无人机飞行性能、飞行高度和技术设备情况，以及经济上的合理性等因素，综合分析测量的预期效果后确定。

5.4.1.2 无人机航空磁测的测量比例尺与测量任务类型有关，一般情况下，区域性和综合性航空磁测比例尺为 1：250000~1：50000，专属性航空磁测比例尺为 1：100000~1：10000，以勘查油气为主的航空磁测比例尺为 1：250000~1：25000，无人机航空磁测的最大比例尺宜为 1：5000。

5.4.1.3 根据不同测量任务要求，应综合考虑测区自然地理、地质、地球物理、无人机、测量仪器和测量方法等因素，以突出测量效果为目的，合理选择测量比例尺。

5.4.2 测线间距

5.4.2.1 测线间距和测量比例尺的对应关系如表 1。

表1 测线间距与测量比例尺对应关系表

测量比例尺	测线间距 m
1 : 5000	50
1 : 10000	100
1 : 25000	250
1 : 50000	500

5.4.2.2 局部成矿有利地段或有意义的地区，可加密主测线为原测线的 1/2 测线间距测量。

5.4.2.3 局部重要目标体走向平行于或近于平行主测线方向时，可布置与主测线间距相同的控制线作为辅助测线，以提高异常形态的可靠性。

5.4.2.4 根据具体条件，分区布设不同间距的测线。无特殊情况，同一个测区不宜多于两种测量比例尺。

5.4.3 主测线布置

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。

5.4.4 控制线布置

5.4.4.1 应布置垂直于测线方向的控制线，主要用于联系和调整测线的磁场水平，检查全测区的测量质量，研究不同走向异常的变化。

5.4.4.2 控制线宜选择在磁场相对平静和地形平缓地段，并且与测线上的离地飞行高度尽量接近。每条测线要求有至少两条控制线穿过。

5.4.4.3 控制线的间距应根据工作任务要求和测区自身特点制定，一般选择为测线间距的 5 倍~15 倍，或飞行时间 2min~5min 的距离。

5.4.4.4 控制线两端宜向测区外延 3 条~5 条测线间距距离，以起到有效的控制作用。

5.4.4.5 当测区布置两组正交测线时，可不专门安排控制线测量。

5.5 飞行高度

5.5.1 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进行设定，经航迹仿真验证后确定。

5.5.2 在不同地形条件下，设计平均离地飞行高度时，可参照表 2。规划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。

5.5.3 在地形特别复杂的地区，如果确定能够实现预定的航空磁测目标要求，可根据地形条件、气象条件及无人机机动性能，设定不同飞行高度分区区块，按实际允许的安全高度飞行；但应在保证飞行安全的前提下，尽量降低飞行高度，同时要避免相邻架次或测线的飞行高度差别过大。

5.5.4 当测区内地面磁性人文干扰较多时，设定的飞行高度可适当抬高，以减少其影响，也可通过飞行试验确定合理的离地飞行高度，或采用夜间作业降低地面磁性人文干扰对数据的影响。

5.5.5 在水域上空飞行测量时，应设定按允许的安全高度平飞；高差大于 600m 且梯度大于无人机爬升率或下滑率时，应按海拔高度缓起伏飞行进行飞行高度设计。

表2 不同地形条件下的平均飞行高度

测量比例尺	平均飞行高度 m				
	平原地区 高差≤100m	丘陵地区 100m<高差≤200m	低山区 200m<高差≤400m	山区 400m<高差≤600m	高山区 高差>600m
≥1:25000	70~125	90~150	100~175		
1:50000	70~140	90~170	100~250	150~350	300~500

5.5.6 区域性、综合性和专属性矿产无人机航空磁测时，在保证飞行安全的前提下，应按设定的离地高度随地形起伏飞行；以勘查油气为主航空磁测时，应采用缓起伏的低高度飞行或等高度水平飞行。

5.5.7 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。

5.5.8 测量离地飞行高度的测量误差应小于设计离地高度的10%。

5.6 航迹规划

5.6.1 无人机航空磁测在确定测网平面坐标后，须对飞行高度进行航迹规划，以保障飞行安全和控制飞行质量。

5.6.2 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。

5.6.3 无人机航空磁测航迹规划应遵循以下原则：

- 保证无人机能够安全越障，在测线任意一点均可安全退出测线，在通讯链路故障时能安全返航；
- 宜实现测线按设定程序和参数全自主飞行，避免人为干扰，保证无人机飞行高度、测线间距可预期；
- 通过航迹规划使无人机能按设定高度依地形起伏飞行，保证相邻测线飞行高度平滑过渡，避免过大高度变化，保证测网交叉点处飞行高度的一致性；
- 保证平均飞行高度满足5.5的相关规定。

5.6.4 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。

5.7 飞行速度与采样率

5.7.1 无人机航空磁测测量时飞行速度应保持基本一致。当测量系统的数据采样率较低时，应尽量采用低速飞行。

5.7.2 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。可按式(1)计算最低采样率 n (次/s)：

$$n = \frac{v \cdot P}{S} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

v ——作业无人机的最大速度，单位为米每秒 (m/s)；

P ——要求在异常上最少采样点数，每个异常至少应由3个采样点组成，单位为次；

S ——探测对象的最窄异常宽度，单位为米 (m)。

5.7.3 无人机航空磁测选用10次/s的采样率较合适。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

5.8.1 导航定位方法

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。

5.8.2 导航定位精度及偏航距

5.8.2.1 所用导航定位系统的定位精度采用静态定位精度（均方差）来衡量，观测数据时间不少于 2h，静态定位精度（均方差）应优于 $\pm 2\text{m}$ 。

5.8.2.2 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。

5.8.2.3 对连续偏航大于偏航距设计要求，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。

5.9 磁日变观测

5.9.1 在航空磁测中磁日变引入的误差较大，测量期间需同时进行磁日变观测。

5.9.2 采集磁日变数据并用于对航空磁测原始数据校正，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。

5.9.3 磁日变站的控制半径原则上应不大于 300km。测区较大时，应采用多个磁日变站同步观测。多架无人机进行航磁测量时，应确保每架无人机作业区域处于磁日变控制范围内。在不具备设置多台磁日变站条件的地区，可采用加密控制线的方法减小磁日变影响。

5.9.4 磁日变站址应选择在地磁平静、磁梯度小、人文干扰小、地形平坦开阔地段，要求对以探头为中心半径 2m 的平面四方位测量 9 点磁场值，磁场变化不超过设计均方误差（总精度）的 1/2。探头位置和高度确定后，应保持不变，探头位置与仪器主体之间的距离应大于 10m，当采用电瓶供电时，二者的距离应大于 1m，探头与建筑物或其他人文干扰之间的距离均应大于 15m。

5.9.5 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。

5.9.6 确定磁日变观测采样率、记录方式和噪声水平。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。

5.9.7 确定磁日变校正方法：采用多台站磁日变测量时，应明确磁日变归算和校正方法。

5.9.8 磁暴期间，不得进行航空磁测。当磁日变记录连续出现梯度大于 $5\text{nT}/3\text{ min}$ 的非线性变化时大于 5min 时，应停止飞行并对连续出现超标的测线段进行补飞。

5.10 数据收录

5.10.1 数据收录形式

无人机航空磁测采用数字收录，应按规定的格式、内容记录。数据收录系统的存储介质应保证数据记录的完整性、真实性，并具有很高的抗损性。

5.10.2 数据收录内容

5.10.2.1 空中数据收录包括以下内容：补偿前的磁场值、补偿后的磁场值、飞行姿态数据（或磁通门三分量数据）、飞行离地高度值（ h_R ）、海拔高度值（ h_g ）、导航定位坐标值（ X 、 Y ）或经纬度（ λ 、 φ ）及气压高度值、采样点号、日期、时间等。

5.10.2.2 磁日变数据收录包括以下内容：大地磁场值、定位坐标值（ X 、 Y ）或经纬度（ λ 、 φ ）、采样点号、日期、时间等。

5.11 无人机磁场补偿

5.11.1 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。

5.11.2 探头以硬架方式安装时，必须进行无人机磁场补偿。

5.11.3 无人机磁场软补偿可在选定的矩形或菱形闭合框上进行磁补偿飞行，在获得不同姿态下的飞机磁干扰场与姿态数据后，通过补偿器实时计算或补偿软件事后计算出补偿系数，去除磁干扰的过程。其空中取值、补偿方法如下：

- a) 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）；
- b) 顺序沿闭合框各边飞行，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 次~5 次，或根据无人机最大机动能力确定补偿动作幅度；
- c) 待完成闭合框所有机动动作且飞机航向和起始航向重合后，地面遥控航磁仪退出补偿模式，系统自动计算磁补偿参数，并将补偿参数存储于补偿器内，显示补偿精度等结果；
- d) 补偿完成后，应按照 5.11.3 b) 进行验证飞行。

5.11.4 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。

5.11.5 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按 5.11.3 要求完成无人机磁场软补偿。

5.11.6 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。

5.11.7 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 航磁测量总精度与误差分配

5.12.1 在设计书中，按任务要求规定航空磁测总精度。

5.12.2 航空磁测总精度（ σ ）由式（2）中 $\delta_1 \sim \delta_6$ 等六项因素组成。在进行设计时，应根据航磁测量参数的选择和实际情况来分配和估计各因素引起的误差。在保证达到设计总精度的前提下，可以提高某项的精度而降低另一项的精度。

5.12.3 航空磁测相对测量（ ΔT ）设计的总精度（ $\sigma_{\Delta T}$ ），通过式（2）估算：

$$\sigma_{\Delta T} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2 + \delta_6^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^6 \delta_i^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\sigma_{\Delta T}$ ——航空磁测相对测量总精度；

δ_1 ——使用的航空磁力仪系统动态噪声；

δ_2 ——因导航定位误差而引入的误差；

δ_3 ——探头方向差和探头处飞机磁场的综合补偿及方向差校正误差；

δ_4 ——飞行高度测量误差而引入的误差；

δ_5 ——磁日变及其校正误差；

δ_6 ——由其他因素（例如，磁场水平调整）引起的误差。

5.13 设计书编写与审批

5.13.1 项目承担单位须依据项目任务书、合同（协议）书和本标准的要求，编写项目设计书。设计书编写提纲参见附录 A。

5.13.2 设计书经项目任务下达单位评审并批准后，方可实施。

5.13.3 项目实施过程中需对设计进行变更时，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

无人机航空磁测系统由空中和地面两部分。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

6.2.1 用于航空磁测的无人机应具备飞机机体、动力装置、导航定位系统、飞控系统、电气系统和机载数据终端等主要部件及设备。

6.2.2 一般根据工作任务、测区大小和航空磁测设备情况，以及经济上的合理性等因素，综合分析测量的预期效果后选择合适的无人机系统。

6.2.3 优先选择技术成熟、可靠性高、具备4级风力（8m/s）气象条件下安全飞行能力的无人机。

6.2.4 无人机平台应具备改装航磁设备的基本条件，能够满足航空磁测设备对重量、空间、供电、电磁兼容等方面的需求。

6.2.5 宜选用搭载航磁设备后续航时间长的无人机平台，以提高探测效率。

6.2.6 无人机系统应具备可靠的通讯、远程控制能力及自主飞行能力。当通讯链路失效时，可以自动按照预设航线或者高度盘旋等待、返航、迫（备）降。

6.3 航磁测量系统

6.3.1 系统组成

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

6.3.2.1 航空磁力仪在无人机上安装之前，须进行检查验收并记录，参见附录表B.1、附录表B.2。达到要求后，方可进行安装。检测的主要内容为：

- a) 静态噪声水平应 $\leq 0.01\text{nT}$ ；
- b) 带宽 $\geq 0.5\text{Hz}$ （或阶跃响应上升时间 $\leq 1\text{s}$ ）；
- c) 探头方向差 $\leq 1.0\text{nT}$ ；
- d) 采样率 $\geq 2\text{次/s}$ ；
- e) 航空磁力仪应进行不少于5h稳定性测试，单台磁力仪局部变化的包络线峰峰值，在任意10s内应 $< 0.1\text{nT}$ ；
- f) 应对同一测区作业所使用仪器及备用仪器进行一致性观测，要求连续5h测量差值的最大变化 $< 0.5\text{nT}$ 。

6.3.2.2 应对导航定位设备的坐标值、高度、时间和时钟脉冲信息等输出数据进行检查，导航定位精度应满足测量任务的要求。

6.3.2.3 飞行高度测量设备（如气压高度计、雷达高度计等）应对格值、灵敏度、测量误差、校正系数等进行检查，应达到其出厂指标。

6.3.2.4 数据收录设备应选用多参数自动收录仪。按其说明书要求，对数据收录格式、误码率、时间准确性、各项数据同步程度等内容进行检查。

6.3.3 仪器设备安装

6.3.3.1 航空磁力仪系统探头安装方式，可选用硬架方式或软吊挂方式。

6.3.3.2 在安装前应对无人机磁干扰场分布情况分别进行静态测量，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。

6.3.3.3 当使用硬架方式安装时，探头所处位置要求飞机磁场平稳、磁梯度变化小、与机体姿态变化的一致性良好，应远离电磁干扰设备。探头的支杆或支架、固定螺丝、信号电缆等都必须是无磁性材料，机械强度需符合要求。

6.3.3.4 当使用软吊挂方式安装磁探头时，软吊电缆长度应保证飞机干扰场小于设计的误差要求，软吊电缆应为符合强度要求的无磁材料。

6.3.3.5 如果磁力仪探头有安装角限制，应按说明书要求选择最佳的安装角。

6.3.3.6 禁止使用带磁性的工具对探头附近的紧固件进行安装。

6.3.3.7 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。

6.3.3.8 在无人机上安装导航定位系统时，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。

6.3.3.9 当航空磁测系统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

6.4.1 仪器设备组成

6.4.1.1 无人机地面控制站主要由以下仪器设备组成：

- a) 飞行操纵与管理设备；
- b) 显示设备、任务规划设备及数据中继设备；
- c) 地面测控站数据终端；
- d) 发射与回收分系统；
- e) 故障与维修分系统；
- f) 其他情报和通信信息接口。

6.4.1.2 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。

6.4.2 功能要求

6.4.2.1 地面测控站应能够根据飞行性能、任务需求和飞行测量环境（包括地理、气象、电磁、威胁等）进行现场实时任务规划。要求如下：

- a) 航线数目一般不小于 10 条；
- b) 能方便的进行航路点插入、删除、编辑、存储和查询；
- c) 任务规划的结果应能进行合理性检验，并进行预航迹仿真；

- 6.4.2.2 地面测控站应根据任务需要和当时飞行状态参数进行飞行控制。飞行控制要求如下：
- 控制内容一般包括姿态、航向、速度、高度和航线的选择与控制等；
 - 起降阶段的控制应简单可靠、操作灵活；
 - 对于影响飞行的关键操作，如发动机停车、开伞等，应有醒目的特别标记，防止误操作；
- 6.4.2.3 地面测控站应能够对处于工作状态的航磁测量系统进行必要的远程控制。通常包括如下内容：
- 航空磁测设备开关、机；
 - 航空磁测设备切换工作模式（如补偿模式/作业模式）；
 - 航空磁测设备数据存储开、关；
 - 航空磁测设备补偿参数切换。
- 6.4.2.4 地面测控站应能够根据接收的导航定位数据和其他遥测参数，以及测控站的跟踪定位数据，经过必要的数据处理，进行无人机飞行航迹与状态参数的显示。通常要求如下：
- 应在地图背景上显示无人机实际飞行航迹，同时显示任务规划产生的预定义飞行航线；
 - 参数显示内容一般包括无人机的位置、高度、速度、姿态（航向、俯仰角、倾斜角）、发动机状态（转速、缸温）、舵偏及舵控量、机载电压、导航参数等；
 - 当无人机处于临界或危险飞行状态时，例如发动机停车、燃油系统故障、供电设备故障，以及飞行高度、空速、油量超限和遭遇威胁等情况，应有告警显示。
- 6.4.2.5 地面测控站应能够将接收的航空磁测数据、机载航磁设备状态参数等航空磁测信息显示在监视器上。显示内容要求如下：
- 空中数据收录系统发送的测量数据，包括导航定位数据、时间、补偿前磁场值、补偿后磁场值、姿态三分量数据、海拔高度、离地高度等信息；
 - 显示机载航磁设备工作状态信息，包括控制响应信息、报警信息；
 - 用图形方式显示飞行高度和补偿前后的磁场值；
- 6.4.2.6 地面测控站应能够对检测的数据链工作状态进行显示。要求如下：
- 链路工作状态显示一般采用监视器或指示灯，主要工作参数应有数字显示；
 - 在工作状态不正常时，应有明显的声（光）告警提示。

6.5 磁日变测量系统

6.5.1 仪器组成

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。

6.5.2 仪器检测与安装

6.5.2.1 在执行测量任务前，需对磁日变测量系统进行检查验收并编制系统验收表，编制要求参见附录表 B.3。检查内容见 6.3.2.1、6.3.2.2 及 6.3.2.4。

6.5.2.2 根据 5.9.4 要求选址并架设磁日变观测系统，填写磁日变基站选址记录表，编制要求参见附录表 B.4。

6.5.2.3 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

6.6.1 系统组成

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。

6.6.2 安装与检验

6.6.2.1 调试好野外数据预处理系统，检验、调试硬件工作状态和软件功能至符合要求，完成联机与数据处理试验。系统在野外使用时应有专人管理和进行定期维护，并专用于数据处理工作。

6.6.2.2 配备必要的备份软件、数据存储介质和数据预处理耗材。

7 野外测量

7.1 开工前的仪器准备

7.1.1 试飞

无人机系统应装载模拟载荷进行试飞，试飞主要内容如下：

- 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

7.1.2.1 确认无人机及其机载航磁测量系统各设备工作正常，根据 6.2.3 要求进行安装、调试。

7.1.2.2 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。

7.1.2.3 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。

7.1.2.4 航空磁力测量系统及配套设备在安装调试后，应通电检查和调节，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，参见附录表 B.3。

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

7.1.4.1 野外实地踏勘，考察测区内地形、地貌、人文等情况。

7.1.4.2 根据系统通信的通视距离、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，合理制定地面控制站的布设方案，编制地面控制站选址及测试记录表，参见附录表 B.5。

7.1.4.3 在条件允许的情况下，优选最大测控范围站点。

7.1.4.4 根据实际工作任务需要，可适当增设测控站点。

7.1.5 雷达高度计校准

7.1.5.1 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。

7.1.5.2 校准飞行应在地形平坦地区进行。

7.1.5.3 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。

7.1.5.4 每个高度飞行两次，每次飞行时间应大于 1min。

7.1.5.5 校准飞行中飞行高度变化应不大于±5%。

7.1.6 气压高度计校准

7.1.6.1 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。

7.1.6.2 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。

7.1.6.3 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

7.1.7.1 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。

7.1.7.2 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。

7.1.7.3 须在磁场变化最大不超过 200nT 的平静磁场区域内进行。

7.1.7.4 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。

7.1.7.5 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

7.1.8.1 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。

7.1.8.2 方向差检查飞行需在平静磁场区域进行。

7.1.8.3 飞行方向分别与主测线方向和控制线方向一致。

7.1.8.4 各方向飞行不少于 2 次。

7.1.8.5 测试飞行时应记录磁日变数据。

7.2 测线飞行前的准备

7.2.1 测线规划

7.2.1.1 应根据设计书规定的测线方向和测网密度进行测线规划，给出测线飞行的航路点数据。航路点数据应包括每条测线的端点和其他控制点（如雷达高度、气压高度、偏航控制点）的经纬度坐标和高度数据。经检查无误后方可交于机组使用。

7.2.1.2 测量飞行的前一天，项目负责人应以飞行任务书形式向机组正式下达飞行测量任务。飞行任务书内容参见附录表 B.6。

7.2.1.3 机组应根据飞行任务书制定合理的飞行计划。

7.2.1.4 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

7.2.2.1 放飞前，应对测量系统进行检查。检查的主要内容包括：航空磁力仪和磁日变观测系统是否工作正常，测控链路是否畅通，导航定位系统工作是否正常。

7.2.2.2 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

7.3.1 基线测量飞行

- 7.3.1.1 基线应选择在地面无人文干扰、出航和返航比较方便的地段。
- 7.3.1.2 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。
- 7.3.1.3 早、晚基线测量飞行时，应力求航迹、离地飞行高度相同。
- 7.3.1.4 当测区跨度较大需要变更起降点时，可重新布置基线。

7.3.2 测线测量飞行

- 7.3.2.1 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（参见附录表 B.7）、测量工作记录表（参见附录表 B.8）等记录表格。
- 7.3.2.2 测线中的危险点原则上不提倡在测量飞行过程中采用地面手动控制越障方式；特殊情况下必须手动避险时，可以遥控无人机自主爬升到安全高度，越障后立即切入到自主飞行模式。
- 7.3.2.3 当测线分段测量飞行时，应采用接线法，分段衔接应保持 $>2\text{km}$ 重复；大面积接线测量时，接线位置应有控制线。若接线重复区（或段）处于异常上时，接线可适当延长。
- 7.3.2.4 测线测量飞行中，地面测控人员和磁日变观测员发现航磁动态噪声、测线偏航距、飞行高度、磁日变数据等出现不能满足质量要求时，需及时通知无人机测控人员停止当前测线测量，并对问题测线重新测量。
- 7.3.2.5 原则上应在飞控程序中针对链路中断问题设计适当的判别和应对机制，当空地通讯失联时间小于 $5\text{s}\sim 10\text{s}$ （根据无人机性能确定），无人机可忽略该问题；若失联时间大于 10s ，无人机应能自主切出依地形起伏飞行模式并爬升至安全高度，若通讯恢复畅通则自主切入至作业飞行模式继续飞行；若长时间不能恢复，无人机自主切入返航模式。
- 7.3.2.6 当机载航磁系统出现故障，可遥控磁测系统断电重启，或遥控磁测系统启动备用装置加以解决。如果采取措施后仍不能恢复，且该故障影响数据质量时（如磁力仪失锁，雷达高度失效、姿态传感器故障、导航定位系统故障等），必须返航检修。
- 7.3.2.7 当有影响飞行安全的任何故障发生或磁日变观测系统故障且不可及时修复时，必须返航待故障解决后重新完成测量任务。
- 7.3.2.8 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

- 7.3.3.1 控制线与测线测量飞行相同，需在磁场补偿飞行补偿精度达到设计要求时，才允许进行控制线飞行。
- 7.3.3.2 控制线飞行方式与测线飞行相同，并且尽量与测线上离地飞行高度接近。
- 7.3.3.3 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。

7.3.4 重复线测量飞行

- 7.3.4.1 重复线测量是质量检查的一部分。应安排重复线飞行，以评价资料质量，每个测区的重复线测量工作量不应少于 1% 。
- 7.3.4.2 重复线测量飞行时，应力求与测线首次飞行时的航迹、离地飞行高度相同。
- 7.3.4.3 同一测区的不同测量系统、不同测量年度间需进行同向和反向的重复线测量飞行。
- 7.3.4.4 为检查并纠正测量系统的滞后现象，需做相同飞行高度的反向的重复线测量飞行，滞后飞行重复线应至少包含一个完整磁异常；根据相向方向测量得到的磁异常位置偏移，求取位置校正时间量。

7.4 磁日变观测

7.4.1 磁日变测量系统采样时间应与空中磁力仪采样时间同步，可采用导航定位系统授时或与国家授时中心标准时间校对。

7.4.2 磁日变观测应由专人负责，注意监视磁暴和磁扰现象。磁日变记录连续出现梯度变化大于 $1\text{nT}/\text{min}$ 时，应密切注意其变化；当连续出现梯度大于 $5\text{nT}/3\text{min}$ 的非线性变化时，应通知机组停止飞行并对连续出现超标的测线段进行补飞。

7.4.3 磁日变观测员应填写日变记录表（参见附录表 B.9），当有外界的人文干扰时应在记录上注明。

7.4.4 磁日变观测时间为每架次起飞前半小时至飞机落地。

7.5 设备检修与维护

7.5.1 野外测量期间，须定期检测仪器设备，并记录备案。

7.5.2 野外停飞期间，须每周对航磁测量系统进行维护，并记录备案。

7.6 原始资料编录

7.6.1 每个有效架次测量飞行结束后，应提交的原始资料包括：航磁测量原始数据、磁日变数据、飞行报告、测量工作记录表、日变记录表等，对原始资料进行编录。

7.6.2 编录内容应包括：测区名称、机场（起降场）、架次号（无效架次不编录架次号）、测线号、日期、数据采集者（操作员、技术负责）和仪器型号等信息。

7.6.3 一个测区内，测线号应按位置顺序从小到大依次编排、不得出现重复测线号；一条测线分段飞行，应使用不同的测线号予以区别。

7.6.4 记录内容填写应完整、准确。

7.6.5 对原始数据进行存储并备份。

7.7 原始资料现场检验

7.7.1 测试检验评价

7.7.1.1 航空磁力仪系统地面静态测试后，按 0.5s （或等效为 0.5s ）采样间隔计算航空磁力仪地面静态噪声水平，要求达到设计要求。航空磁力仪地面静态噪声水平计算公式参见 DZ/T 0142-2010 的 8.3.2，静态噪声评价分级如下：

一级： $S_n \leq 0.01\text{nT}$ ；

二级： $0.01\text{nT} < S_n \leq 0.03\text{nT}$ ；

三级： $0.03\text{nT} < S_n \leq 0.10\text{nT}$ ；

四级： $S_n \geq 0.10\text{nT}$ 。

7.7.1.2 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。

7.7.1.3 导航定位系统地面静态测试后，根据收录测试点的观测坐标数据，求出实际使用的导航定位系统静态定位精度（均方差）应符合 5.8.2.1 要求。

7.7.1.4 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 1.0nT 。

7.7.1.5 日变静态噪声水平要求达到一级（ $\leq 0.01\text{nT}$ ）。

7.7.2 数据预处理与质量评价

7.7.2.1 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。

7.7.2.2 统计全测区的测网疏密度，测网疏密度用于评价飞行测线平面上实际均匀分布情况的指标。计算公式见 DZ/T 0142-2010 的 8.3.5.3。

7.7.2.3 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。

7.7.2.4 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）。

7.7.2.5 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。

7.7.2.6 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）。

7.7.2.7 航磁数据经各项改正后计算航磁调平前和经过控制线精细调平后，分别计算总精度。调平前和调平后总精度计算方法均采用控制线与测线交点上磁场差值的总均方差 σ ，这反映了航磁系统的测量误差及各项改正误差的总和，其计算公式如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- σ ——控制线与测线交点上磁场差值的总均方差，单位为 nT ；
- n ——参加计算的控制线与测线交叉点个数；
- δ_i ——第 i 个控制线与测线交叉点上磁场差值，单位为 nT 。

计算时允许舍去磁场梯度较大而且磁场差值大于 3σ 的交叉点。其余的交叉点均应参与 σ 的计算。在完成精细调平后应按上述舍点要求再计算 σ ，作为全区测量的成图总精度值。

7.7.2.8 原始资料经现场检验不能达到设计质量要求的，须重新测量。

7.7.2.9 打印空中数据各项检查和统计结果，并按架次顺序装订成预处理报告。

7.7.3 原始资料验收

7.7.3.1 原始资料须进行野外项目组自检、互检，项目负责人和技术管理部门验收三级检查。

7.7.3.2 原始资料验收通过后，才能结束野外测量工作。

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（见 7.7.2.9）。

附录 A

(资料性)

无人机航空磁测数据采集设计书编写提纲

A.1 前言

A.1.1 目的任务

简述项目来源、任务、选区依据、工作时间、预期成果等及有关要求。

A.1.2 测区自然地理概况

简述测区交通、地形、气象等自然概况（附测区交通图、地形图等）。

A.1.3 测区范围及工作量

简述测区位置、角点坐标、测量比例尺、测量工作量（测线工作量、测量面积）；附小比例尺航空物探测量范围图。

A.2 测区地质、区域地球物理、地球化学特征

A.2.1 以往工作程度

简述测区地质、地球物理、地球化学、遥感等研究程度（附航空物探研究程度图）。

A.2.2 地质概况

综述区内地层、构造、岩浆岩分布和主要矿产的分布规律。

A.2.3 区域地球物理、地球化学、遥感特征

综述测区地层、岩（矿）石的物性参数特征（附物性参数统计表），区域地球化学特征及参数。论述开展航空物探测量工作的基础和前提。预测在构造、填图及找矿方面或解决其他探测对象的可能效果和存在的推断解释难点。

A.3 系统集成及测试

A.3.1 测量仪器及要求

简述选用无人机系统组成、功能及其适用性，无人机起降方式及所用起降场地；航空物探测量使用的仪器类型和主要技术指标，数据收录格式；地面控制站的组成及功能要求；地面磁日变系统使用的仪器类型和主要技术指标，数据收录格式等。

A.3.2 系统安装及测试

简述无人机航空磁测系统集成方案及开工前系统和各项测试准备工作，包括测量系统在室内、室外的测试方法和结果要求。

A.4 工作方法及质量要求

A. 4. 1 测网布置

简述航空物探测量比例尺、测线方向、测线线距、控制线方向、控制线线距（附航空物探测网图）及其依据。

A. 4. 2 测量方法及质量要求

A. 4. 2. 1 飞行高度及航迹规划

根据测区测量目标、地形条件和使用无人机的性能参数等因素，通过航迹规划并经仿真验证后制定测线飞行高度指标，分析研究飞行高度能否满足任务书/合同书的要求。

A. 4. 2. 2 导航定位

简述航空物探测量使用的定位系统，导航定位的质量要求。

A. 4. 2. 3 辅助测量

简述磁补偿系统要求达到的补偿精度，控制线飞行时航空物探测量系统的仪器状况及气象要求，重复线测量方法与要求，滞后检查飞行方法与要求、不同高度或加密测量方法与要求。

A. 4. 2. 4 磁日变观测

综述磁日变站址的选择原则及要求，磁日变观测的注意事项和相关技术要求。

A. 4. 3 测量仪器工作要求

简述在出队前、开工前、正式起飞前、飞行生产中航空物探测量系统各检测环节的工作程序及技术要点。

A. 5 资料整理及质量评价

A. 5. 1 资料编录

简述资料编录整理方法，各类测量数据文件命名方法等。

A. 5. 2 测量质量评价

A. 5. 2. 1 原始资料评价

简述原始资料（静态与动态噪声水平、导航定位、飞行高度、空中收录系统的误码率等）的评价准则及评价结果。

A. 5. 2. 2 测量总精度

简述测量总精度使用的统计方法和要求达到的测量精度。

A. 5. 3 数据预处理与质量控制

简述数据预处理方法、流程、质量控制方法，重测、补测线段确定。

A.6 预期成果

简述预期成果内容及验收时间。

A.7 组织管理

简述项目组人员组成、职责及分工；进度安排与效率、技术装备等。

A.8 经费预算

按有关预算规定执行。完成任务计划的预算说明和相应的预算表格。

A.9 保证措施

组织措施、质量保证、生产安全、环保措施等。

附 录 B

(资料性)

无人机航空磁测数据采集工作用表

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。

表B.1 仪器设备静态性能检测记录表

检测日期	年	月	日	检测地点	
记录者				检查者	
响应时间检测					
序号	设备名称			设备编号	记录文件
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
方向差检测					
序号	设备名称			设备编号	记录文件
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
一致性（兼静态噪声）检测					
序号	设备名称			设备编号	记录文件
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

表B.2 航磁仪静态性能检测报告

检测日期	年	月	日	检测地点	
制表人				审核人	
设备名称				设备编号	
响应时间					
记录文件		采样率		检测结果	(要求 $\leq 1s$)
响应时间 曲线					
方向差					
记录文件		采样率		检测结果	(要求 $\leq 1nT$)
方向差 曲线					
静态噪声水平					
记录文件		采样率		检测结果	(要求 $\leq 0.01nT$)
稳定性					
记录文件		采样率		检测结果	合格 <input type="checkbox"/> 不合格 <input type="checkbox"/>
一致性					
序号	其他磁力仪编号	记录文件		检测结果(要求 $\leq 0.5nT$)	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

表B.3 无人机航空磁测测量系统验收表

项目名称					
系统组成	设备名称			设备编号	
航空磁力仪静态测试					
测试项	响应时间 s	方向差 nT	一致性 nT/5h	静噪声 nT	稳定性(抖动度) nT
要求	≤1	≤1.0	≤0.5	≤0.01	≤0.1
实测					
日变磁力仪静态测试					
测试项	静噪声 nT		稳定性(抖动度) nT		
要求	≤0.01		≤0.1		
实测					
磁日变站选址					
选址地点					
测试项	磁场最大梯度(探头中心2m平面范围内) nT/m			探头与建筑物最小距离 m	
要求	$<\sigma/2$			$>15\text{m}$	
实测				符合 <input type="checkbox"/> 不符合 <input type="checkbox"/>	
飞机磁场补偿					
测试项	补偿方式	补偿精度			
补偿精度					
导航定位					
名称	导航定位系统		雷达高度计		气压高度计
要求	静态定位精度应优于±2m		是否标定		是否标定
实测			是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>		是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>
试飞情况					
提交资料					
填表人			项目负责人		
验收评价意见					
验收组长			成员		
主管部门			日期		

表B.4 磁日变基站选址记录表

观测日期	年	月	日	观测地点	
记录者				检查者	
设备名称				记录文件	
测量记录					
位置	场值 nT	与原点差值 nT	梯度值 nT/m	备注	
0					
N1					
N2					
S1					
S2					
W1					
W2					
E1					
E2					
结论					
位置示意图及说明					
位置示意图				说明	
				<ol style="list-style-type: none"> 1. 原点 (O) 指磁力仪探头所在位置。 2. 箭头所指方向为当地磁北向。 3. EWSN 分别是东西南北向缩写。 4. 测量时尽量保持探头同高同向。 5. 上表计算时, 测量两次原点磁场值以减少磁日变的影响; 为了简便, 使用前后两次原点磁场值的平均值计算。 6. 为了提高准确度, 每个点可以多测几次求平均值计算。 	

表B.5 地面控制站选址及测试记录表

项目名称			
测试日期	年	月	日
天气			
测试者			记录者
设备型号			选址位置
天线位置高度 m			通视距离 km
交通情况			覆盖面积 km ²
示意图			
交通位置示意图		通视及覆盖面积示意图	
情况描述:		情况描述:	

表B.6 无人机航空磁测飞行任务书

_____年度 编号(架次)_____

项目名称				飞行路线(区域)示意图
飞机型号		仪器型号		
测区		起降场地		
下达日期		飞行日期		
预计飞行时间		设计飞行高度		
预计航路里程		设计测线里程		
测线规划	(签字)	航迹仿真	(签字)	
飞行任务	_____ _____ _____ _____			
注意事项	_____ _____ _____ _____			
备用任务	_____ _____ _____ _____			

表B.7 无人机航空磁测飞行报告

编号 (架次)	起降场地				飞行项目	测量公里 km	飞行时间		备注
飞机型号	日期						小时 h	分钟 min	
起飞时间	落地时间				测线测量				
仪器型号					基线				
测线编号	_____				控制线				
	_____				重复线				
	_____				飞行质量	平均飞行高度 m	平均偏航距 m	飞行质量	
气象情况	天气	<input type="checkbox"/> 晴	<input type="checkbox"/> 阵雨	风力	<input type="checkbox"/> 一二级	飞行航迹图			
		<input type="checkbox"/> 多云	<input type="checkbox"/> 小雨		<input type="checkbox"/> 三四级				
		<input type="checkbox"/> 阴	<input type="checkbox"/> 中到大雨		<input type="checkbox"/> 五六级				
备注: _____									
飞行情况	<input type="checkbox"/> 正常		<input type="checkbox"/> 中途返航		<input type="checkbox"/> 测线返航				
	返航原因		<input type="checkbox"/> 磁测系统故障		<input type="checkbox"/> 飞机故障				
			<input type="checkbox"/> 空中管制		<input type="checkbox"/> 气象不达标				
备注: _____									
飞行质量	<input type="checkbox"/> 合格		<input type="checkbox"/> 部分超高		<input type="checkbox"/> 部分偏航				
	备注: _____								
驾驶员			机 长						
操作员			技术负责						

表B.8 无人机航空磁测测线飞行记录表

测量日期：____年____月____日 天 气：____ 测量地点：____
 记录人员：____（签名） 审核人：____（签名）

序号	测线	时间 h/min/s	方向 °	数值 nT	备注
1	起飞				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20	落地				
说明					

表B.9 无人机航空磁测日变记录表

测量日期：____年____月____日 天 气：____ 测量地点：____
 记录人员：____（签名） 审核人：____（签名）

序号	测线	时间 h/min/s	方向 °	数值 nT	备注
1	起飞				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20	落地				
说明					

参 考 文 献

- [1] GB/T 18314-2009 全球定位系统（GPS）测量规范
 - [2] GJB 6703-2009 无人机测控系统通用要求
 - [3] DZ/T 0071-93 地面高精度磁测技术规程
 - [4] EJ/1032-2005 航空伽马能谱测量规范
 - [5] MH/1010-2000 航空物探飞行技术规范
 - [6] DD2006-03 岩矿石物性调查技术规程
 - [7] 《地球物理勘查名词术语》（王忠敏、林振民主编）
 - [8] 李军峰, 李文杰, 胥值礼, 孟庆敏, 等. 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成果报告. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 2016. 9.
 - [9] 李军峰, 李文杰, 秦绪文, 等. 新型无人机航磁系统在多宝山矿区的应用试验[J]. 物探与化探, 2014, 38(4): 846-850.
 - [10] 崔志强, 胥值礼, 孟庆敏, 高卫东. 现行三类平台航磁勘查系统特点及勘查效果评述[J]. 物化探计算技术, 2015, 37(4): 437-443.
 - [11] 王林飞, 薛典军, 熊盛青, 等. 航磁软补偿质量评价方法及软件实现[J]. 物探与化探, 2013, 37(6): 1027-1030.
 - [12] 王林飞, 薛典军, 段树岭, 等. 航磁补偿动作规范性评价[J]. 物探与化探, 2016, 40(2): 365-369.
 - [13] 陈斌, 熊盛青, 赵百民. 航空磁测飞行高度的初步研究. 地球物理学进展[J], 2010, 25(3): 957-961.
 - [14] 王婕, 郭子琪, 乔彦超. 固定翼无人机航磁测量系统的磁补偿问题初探[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(6): 2931-2937.
-