

ICS 07.060

CCS D 14

备案号：

DB63

青海省地方标准

DB 63/T 1933—2021

无人机航空磁测技术规范

地方标准信息服务平台

2021 - 06 - 30 发布

2021 - 10 - 01 实施

青海省市场监督管理局 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 技术设计	2
6 系统设备	7
7 野外测量工作	10
8 数据处理与图件编制	14
9 资料推断解释	16
10 成果报告编写与提交	18
附录 A （资料性） 无人机航空磁测工作设计编写提纲	20
附录 B （资料性） 无人机航空磁测记录表	23
附录 C （规范性） 国际地磁参考场 (IGRF) 及地磁正常场校正	31
参考文献	38

地方标准信息服务平台

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。

本文件由青海省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：青海省地质测绘地理信息院、青海省第三地质勘查院、北京桔灯地球物理勘探股份有限公司。

本文件主要起草人：潘彤、马立华、孟军海、殷兴青、马金忠、熊文博、李战业、黄申硕、马龙、丛晓明、陈丰田。

本文件由青海省自然资源厅监督实施。

地方标准信息服务平台

引 言

近年来无人机航空磁测已经成为航空物探领域的重要技术分支之一。该方法以无人机为搭载平台，具有高效、灵活、低风险，以及高数据准确性、低噪声水平、高空间分辨率等优点，已经在我国能源、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作用。我国无人机航磁技术是在《航空磁测技术规范》（DZ/T 0142-2010）发布后才开始进入快速研究、研发与应用阶段的，为规范该方法在当前及今后一定时期内的应用，进一步提高工作质量和应用水平，广泛征求了能源、地质、水文、工程、交通、航空物探等有关高校、科研和生产部门的意见，结合青藏高原高海拔高寒特点，依据目前航空磁测技术水平，编制了本标准。

地方标准信息服务平台

无人机航空磁测技术规范

1 范围

本文件规定了无人机航空磁测的技术设计、系统设备、测量飞行与野外工作、数据处理与图件编制、资料推断解释与图件编制、成果报告编写与提交等方面的技术要求。

本文件适用于基础地质调查，能源、矿产地质勘查和水文、工程、环境地质勘查中硬架安装方式的无人机航空磁测工作，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 14499 地球物理勘查技术符号
DZ/T 0071 地面高精度磁测技术规程
DZ/T 0142-2010 航空磁测技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人机 unmannedaerial vehicle (UAV)

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 UAV aeromagnetic system

以无人机为搭载平台、以航空磁力仪为测量设备的地磁场强度模量值获取系统。

3.3

无人机航空磁测 UAV aeromagnetic total field survey

使用无人机航空磁测系统测量地磁场强度模量值的航空磁测。

3.4

控制站 control station

用于实现任务规划、链路控制、飞行控制、航空磁测系统控制、航迹显示、参数显示和航空磁测系统信息显示，以及记录和分发等功能的设备。设置在地面的控制站称为地面控制站。

3.5

数据链 data link

实现控制站与无人机（包括机载航空磁测设备）之间数据收发和跟踪定位的设备。控制站到无人机的上行链路传输遥控指令或数据，无人机到控制站的下行链路传输遥测数据和航空磁测系统信息。

3.6

飞行仿真 flight simulation

无人机驾驶员在地面利用仿真模拟器进行的仿真模拟测试手段。

4 总则

4.1 通过开展无人机航空磁测工作获取高质量的航空磁测数据，根据岩（矿）石磁性差异并结合地质、矿产、物探、化探、钻探和遥感等资料，对航空磁测结果进行定性和定量的综合推断解释，用于基础地质调查、矿产资源勘查、油气资源调查、地质灾害调查、环境监测等方面研究。

4.2 无人机航磁测量可分为地球磁场总强度绝对值测量（T）、地球磁场相对测量（ ΔT ）和地球磁场梯度测量，目前无人机航空磁测工作主要采用地球磁场总强度绝对值测量（T）。

4.3 用于航空磁测的无人机系统应配备远程测控系统，具备自主飞行能力；具备4级风力（8 m/s）气象条件下安全飞行的能力。

4.4 无人机航磁测量应使用灵敏度优于 ± 0.01 nT的航磁测量系统，以获取高质量的航磁测量数据。

4.5 磁探头采用硬架方式安装时应进行无人机磁场补偿，补偿精度应满足测量精度要求。

4.6 测控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、飞行仿真、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，为测区范围的确定与布置、测线规划、地面测控站和磁日变基站选址等工作提供依据，主要包括：

- 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；
- 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；
- 测区内可用于航迹规划和飞行仿真的数字高程模型数据；
- 其他资料。

5.1.2 现场踏勘

技术设计编制前，宜前往工作区进行现场踏勘，对以下内容进行概略了解，主要包括：

- 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；
- 测区交通条件、测控站布置条件、气候变化及生活保障等；
- 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要保证其完整性，专属性矿产、油气根据特性分别选择，测区选择时应遵循以下原则：

- 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；
- 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；
- 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根据工作任务及工作量，结合地形地貌、测控方法、通视情况等综合确定，并保持边界尽量规则，范围确定时应遵循以下原则：

- 应根据工作任务及工作量要求，结合测区的地质、矿产及以往的物化遥工作程度等因素综合确定；
- 测区范围应大于解决的地质任务所涉及的范围；

- c) 测区范围应结合地形地貌、限制飞行区域分布情况、危险点及无人机机动性能情况综合确定；
- d) 测区范围应结合测控方法、测控站布置、通视及覆盖情况确定；
- e) 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 1 km~2 km。以保证相邻测区工作成果的拼接完整性。

5.3 测区分区及分区范围

- 5.3.1 测线长度大于无人机系统测控半径或无人机作业半径时，可将测区合理划分为若干个分区。
- 5.3.2 测区地形情况差异较大时，可根据地形切割程度合理划分分区。
- 5.3.3 可根据一个测区的不同区段地质构造走向或多数已知矿带走向的变化情况合理划分分区。
- 5.3.4 应根据以上分区原则统一规划分区，分区形态应尽量规则减少的角点数，以提高测量效率。

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，其对应关系参见表 1。
- 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。

表1 测量任务与比例尺对照表

测量任务	测量比例尺范围
区域性和综合性航空磁测	$\leq 1:50000$
专属性航空磁测	1:10000~1:2000
以勘查油气为主的航空磁测	1:25000~1:50000

5.4.2 测线间距

- 5.4.2.1 测线间距和测量比例尺相关，其对应的具体关系如表 2。

表2 测线间距与测量比例尺对照表

测量比例尺	测线间距 (m)
1:2000	20
1:5000	50
1:10000	100
1:25000	250
1:50000	500

- 5.4.2.2 对局部成矿有利地段或有意义的地区，可加密测线测量。
- 5.4.2.3 局部重要目标体走向平行于主测线方向时，可加密控制线以提高异常分辨能力。
- 5.4.2.4 根据具体条件，可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 测线布置

- 5.4.3.1 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。
- 5.4.3.2 一个测区尽量使用一个折中的测线方向。当一个测区内主要地质构造走向或勘查目标的总体走向有较大变化时，可分区设计不同方向测线。
- 5.4.3.3 在测区内，对局部成矿有利地段或有意义的地区，可加密测线测量。

5.4.3.4 在测区内，可根据具体条件，分区布设不同间距的测线，同一个测区不宜多于两种测量比例尺。

5.4.4 控制线布置

5.4.4.1 要求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 10 倍~30 倍。

5.4.4.4 为起到有效的控制作用，控制线两端宜向测区外延 3 条~5 条测线距。

5.4.4.5 当测区布置两组正交测线，且正交测线满足控制线使用要求时，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给出，经飞行仿真验证后确定。

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 3。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。

表3 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/km)	丘陵地区 (高差<200m/km)	低山区 (高差<400m/km)	山区 (高差<600m/km)	高山区 (高差>600m/km)
≥1:10000	50~100	90~150	100~175		
1:25000	50~125	90~150	100~175		
1:50000	70~140	90~170	100~250	150~350	
1:100000	80~170	100~225	120~300	180~425	500~700
1:250000	100~280	150~425	200~560	300~950	500~1000

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 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；油气航空磁测时，应按海拔高度水平飞行或按离地高度缓起伏飞行。

5.5.5 在水域上空飞行测量时，应按实际允许的安全高度平飞；高差大于 600 m 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。

5.5.6 当测区内地面磁性人文干扰较多时，为减少其影响，可适当抬高平均离地飞行高度，也可通过飞行试验确定合理的离地飞行高度。

5.5.7 可以根据航迹规划及飞行仿真验证结果，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，超高百分比不大于 1%。

5.5.8 测量离地飞行高度的测量误差应小于实际离地高度的 10%。

5.6 航高规划

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

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飞控参数信息为基础，规避飞行安全隐患，实现无人机离地高度随地形起伏飞行。

5.6.3 无人机航空磁测航迹规划应保证无人机安全越障，最大限度避免人为干扰，通过航高规划使无人机能按设定高度依地形起伏飞行，航迹规划应遵循以下原则：

- a) 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；
- b) 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可预期；
- c) 通过航高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；
- d) 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软件进行评估，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 航空磁测应选择低空性能好的无人机。当测量系统的数据采样率不高时，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 (次每秒)：

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

式中：

v ——作业无人机的最大速度，单位为米每秒 (m/s)；

S ——探测对象的最窄异常宽度，单位为米(m)；

P ——要求在异常上最少采样点数 (次)，每个异常至少应由 3 个采样点组成。

无人机航空磁测选用每秒 10 次的采样率较合适。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每秒 2 次。

5.8 导航定位及精度

5.8.1 导航定位方法

无人机航空磁测应使用满足定位要求的卫星导航定位系统或组合导航定位系统实现导航定位。

5.8.2 导航定位精度及偏航距

5.8.2.1 所用导航定位系统静态定位精度 (均方差) 应优于 $\pm 2\text{m}$ 。动态定位精度根据工作比例尺按表 4 设置。

表4 不同测量比例尺定位精度 (均方差)

测量比例尺	定位精度 (m)
$\geq 1:10000$	± 2.0
1:25000	± 5.0
1:50000	± 10.0

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) 来衡量。偏航距应小于 $\pm 30\text{m}$ 或不大于 $1/5$ 主测线线距。不同比例尺的最大偏航距规定见表 5。

表5 不同比例尺测量偏航距

测量比例尺	偏航距 (m)
$\geq 1:10000$	$\leq 1/3$ 测线距
1:25000	$\leq 80 \text{ m}$
1:50000	$\leq 150 \text{ m}$

5.8.2.3 对连续偏航大于偏航距要求，长度大于测量比例尺成图长度 10 cm 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 在航空磁测中磁日变引入的误差较大，测量期间应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 当磁测均方差误差为 2 nT~5 nT 时，日变站的控制范围不应大于 50 km，海洋调查可以放宽至 300 km~500 km，测区较大时，应采用多个磁日变站同步观测。

5.9.4 磁日变站址应选择磁场平静、磁梯度小、人文干扰小、地形平坦开阔地段，要求以探头为中心进行十字剖面观测，在半径 2 m 及高差 0.5 m 范围内，磁场变化不超过设计均方误差值的 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 2 m，探头与建筑物或其它人文干扰之间的距离均应大于 30 m。

5.9.5 日变观测用磁力仪，应使用与航空磁力仪同等测量精度的磁力仪。

5.9.6 明确磁日变观测采样率、记录方式和噪声水平。日变观测最低采样率不应小于每秒 1 次。

5.9.7 提出磁日变校正方法；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。当进行高精度航磁测量时，磁日变记录连续出现梯度变化大于 1 nT/min 时，应密切注意其变化；当连续出现梯度大于 5 nT/3 min 的非线性变化时，应停止飞行或事后补飞。

5.9.9 应设定磁测仪器校正点，用于了解一天或一段工作时间内仪器性能是否正常，校正点应位于磁场梯度较小处，附近没有可移动磁性干扰物，设于观测路线上或其他便与使用的地方，并应设立标志，每次对校正点时的点位和高度尽可能一致，每个闭合单元的观测应始于校正点，终于校正点。

5.9.10 按照 5.9.4 选定的日变观测站可兼做基点使用，使用前进行 24 小时连续日变观测，了解仪器性能和短周期日变特征，可选择地磁场变化平稳段，即 2 h 内地磁场平均值变化不超过 2 nT 的时间段，求取平均值作为基站 T_0 值。

5.10 数据收录与内容

5.10.1 数据收录形式

无人机航空磁测数据采集以数字收录为准，应按规定的格式（具体以下载的原始数据为准）、内容记录。数据收录系统的存储介质应能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 无人机空中数据收录

应有以下内容：补偿前的磁场值、飞行姿态数据（或磁通门三分量数据）、飞行离地高度值（hR）、海拔高度值（hg）、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；当采用实时软补偿时，还应收录补偿后的磁场值。

5.10.2.2 磁日变数据收录

应有以下内容：定位坐标值（X、Y）或经纬度（ λ 、 φ ）、采样点号、日期、时间等。

5.11 航磁测量总精度的衡量与误差分配

5.11.1 在设计书中，按任务要求规定航空磁测总精度。使用磁通门磁力仪时总精度均方差误差不大于 ± 5 nT，使用光泵磁力仪时总精度均方误差不大于 ± 3 nT。各种因素的影响可参照表 6、表 7 分配。

表6 相对测量（ ΔT ）误差分配表

σ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5
2.0	0.10	0.40 (140 m)	0.30	1.00 (40 m)	1.60
3.0	0.15	0.60 (200 m)	0.50	1.25 (50 m)	2.55
≥ 4.0	0.20	0.75 (300 m)	0.70	1.50 (60 m)	3.5

注：表中 δ_2 、 δ_4 栏内括号的距离，相应于引起磁场误差的距离。

表7 绝对测量(T)误差分配表

σ	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	δ_7
2.0	0.10	0.4(140 m)	0.30	1.00(40 m)	1.40	0.70	0.70
3.0	0.15	0.6(200 m)	0.50	1.25(50 m)	2.40	0.85	0.50
≥ 4.0	0.20	0.7(300 m)	0.70	1.50(60 m)	3.30	1.0	0.70

注：表中 δ_2 、 δ_4 栏内括号的距离，相应于引起磁场误差的距离。

5.11.2 在进行设计时，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。总误差由式(2)估算设计的总精度（绝对测量时应增加 δ_7 ）：

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

式中：

- $\sigma_{\Delta T}$ ——航磁相对测量总误差；
- δ_1 ——航空磁力仪系统动态噪声；
- δ_2 ——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；
- δ_7 ——测量绝对磁场值及其校正误差。

5.12 飞机磁场补偿

5.12.1 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。

5.12.2 探头以硬架方式安装时，应进行无人机磁场补偿。

5.12.3 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 200 nT），闭合框四边方向分别为 0° 、 90° 、 180° 、 270° ，或平行于主测线和切割线方向；
- b) 顺序沿闭合框各边飞行，每条边分别做侧滚（幅度不小于 $\pm 10^\circ$ ）、俯仰（幅度不小于 $\pm 5^\circ$ ）、侧滑（幅度不小于 $\pm 5^\circ$ ）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；
- 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 5.12.3 中 b) 进行验证飞行。

5.12.4 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，根据无人机体积小、重量轻的特点，可在地面或实验室等理想环境模拟空中补偿方式按 5.12.3 要求完成无人机磁场软补偿。

5.12.5 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 0.08 nT；改善率可用来衡量磁软补偿对干扰场的去除能力，仅作为补偿结果的参考。

5.12.6 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。

5.13 岩（矿）石磁参数调查

5.13.1 每项航空磁测任务均需进行岩（矿）石磁性参数调查，调查包括收集整理以前的磁性资料和补充新测定的磁性资料。

5.13.2 磁参数测定要根据航空磁测地质任务、地质矿产情况与工作地区的岩（矿）石磁性特点，主要依据异常解释需要，确定岩（矿）石磁性参数测定点，标本采集路线和采集点，选择磁参数测定内容和方法。需测定其剩磁（ J_r ）的强度、倾角、偏角和磁化率（ κ 值）等磁性参数，必要时采集定向标本。

5.14 设计编写与审批

5.14.1 项目承担单位应依据项目任务书、合同（协议）书和本规范的要求，编写项目设计书。设计书编写提纲参见附录 A。

5.14.2 设计书经项目任务下达单位评审并批准后，方可实施。

5.14.3 项目实施过程中当发生设计变更时，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

无人机航空磁测系统由无人机系统和航空磁测系统组成，可分为空中和地面两部分。空中部分由无人机平台和机载航磁测量系统组成；地面部分由控制站、磁日变基站和野外数据预处理系统等组成。

6.2 航磁测量系统

6.2.1 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、航磁仪远程测控系统及相关辅助设备。

6.2.2 仪器设备检验

6.2.2.1 航空磁力仪在无人机上安装之前，应进行检查验收并记录，参考附录 B.1。达到要求后，方可进行安装。检验的主要内容为：

- a) 静态噪声水平应 ≤ 0.01 nT；
- b) 带宽 ≥ 0.5 Hz（或阶跃响应上升时间 ≤ 1 s）；
- c) 探头方向差 ≤ 1.0 nT；
- d) 采样率 ≥ 2 次/s；
- e) 同一工区作业使用仪器及备用仪器应进行一致性观测，要求连续 5 h 测量差值的最大变化 < 0.5 nT；
- f) 航空磁力仪应进行不少于 2 h 稳定性测试，单台磁力仪局部变化的包络线峰峰值，在任意 10 s 内应小于 0.1 nT。

6.2.2.2 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。

6.2.2.3 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校验，应达到其出厂指标。

6.2.2.4 数据收录设备应选用多参数自动收录设备。应按其说明书要求，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。

6.2.2.5 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。

6.2.2.6 航空磁力测量系统及配套设备在安装妥善后，应通电检查和调节，并在证实状态良好后做不少于 3 h 的地面稳定性试验。

6.2.3 仪器设备安装

6.2.3.1 航空磁力仪系统探头安装方式，可选用固定或软吊挂方式。

6.2.3.2 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。

6.2.3.3 当使用固定方式安装时，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、信号电缆等都应是无磁性材料，机械强度需符合要求。

6.2.3.4 如果磁力仪探头有安装角限制（如铯光泵磁力仪），应按说明书要求选择最佳的安装角。

6.2.3.5 不宜使用带磁性工具对探头附近的紧固件进行安装施工。

6.2.3.6 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。

6.2.3.7 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。

6.2.3.8 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。

6.3 无人机平台

6.3.1 组成

无人机平台一般由飞机机体、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组成。

6.3.2 选取的一般要求

6.3.2.1 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。

6.3.2.2 无人机系统应经质量安全监测，优先选择技术成熟、可靠性高的无人机。

6.3.2.3 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。

6.3.2.4 为提高探测效率、降低探测成本，宜选用搭载航磁设备后续航时间不低于 3 h 的无人机平台。

6.3.2.5 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、备降。

6.4 地面测控站

6.4.1 仪器设备组成

6.4.1.1 无人机地面测控站应包括飞行操控与管理设备、显示设备、任务规划设备、数据中继设备、测控站数据终端、保障与维修分系统、其他情报和通信信息接口等，仪器设备的主要组成和用途应包括：

- a) 飞行操纵与管理设备。包括用以实现起降操纵、飞行控制操作、数据链管理、机载航空磁测系统控制操作等目的的设备；
- b) 显示设备。包括用以显示无人机飞行状态参数、地图与飞行航迹、机载航空磁测系统工作状态和测量数据的设备；
- c) 任务规划设备。用于飞行航路规划、飞行仿真等目的的软硬件平台；
- d) 数据中继设备。用于数据链的中继转发，安装在中继平台或地面上，包括分别对应无人机和测控站的两个数据终端，每个数据终端由终端处理机、收发信机和天线组合组成；
- e) 测控站数据终端。数据链的测控站设备，地面数据终端有车载式、便携式、手持式和固定式多种类型，可与控制站部署在一起或合为一体，也可以相隔一段距离，而用电缆或光缆连接起来。
- f) 保障与维修分系统。如起重牵引、故障检测、重心检测、发电机等设备，主要用于完成系统的日常维护，以及无人机的状态测试和维修等任务；
- g) 其他情报和通信信息接口。如气象监测设备、空域协调通讯设备等。

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 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。任务规划通常按如下要求：

- a) 航线数目一般不小于 10 条，航路点数目一般不小于 100；
- 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，并进行预飞行仿真。

6.4.2.2 测控站应能够根据任务需要和当时飞行状态参数进行飞行控制。飞行操纵控制通常按如下要求：

- a) 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；
- b) 起降阶段的控制应简单可靠、操作灵活；
- c) 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 测控站应能够根据任务需要和当时设备情况进行链路控制。链路控制通常包括如下内容：

- a) 链路选择;
 - b) 工作频道选择;
 - c) 设备开关机控制;
 - d) 链路参数调整 (如功率控制);
 - e) 天线跟踪方式选择和角度控制。
- 6.4.2.4 测控站应能够根据任务需要和当时飞行状态、航空磁测系统状态进行必要的载荷 (航磁设备) 控制。载荷控制通常包括如下内容:
- a) 航空磁测设备开关机;
 - b) 航空磁测设备切换工作模式 (如补偿模式/作业模式);
 - c) 航空磁测设备数据存储开关;
 - d) 航空磁测设备补偿参数切换。
- 6.4.2.5 测控站应能够根据接收的导航定位数据和其它遥测参数, 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:
- a) 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;
 - b) 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;
 - c) 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。
- 6.4.2.6 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。显示内容通常按如下要求:
- a) 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;
 - b) 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;
 - c) 用图形方式显示飞行高度和补偿前后地磁场值。
- 6.4.2.7 测控站应能够对检测的数据链工作状态进行显示, 通常要求如下:
- a) 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;
 - b) 在工作状态不正常时, 应有明显的声 (光) 告警提示。
- 6.4.2.8 测控站应能够将检测的数据链工作状态进行显示, 通常要求如下:
- a) 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;
 - b) 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、稳压电源组成。

6.5.2 仪器检测与安装

6.5.2.1 在执行测量任务前, 应按设计指标对磁日变测量系统进行检查验收, 检查内容见 6.2.2.1、6.2.2.2 及 6.2.2.4。

6.5.2.2 探头与磁力仪主机间信号电缆长度应大于 20 m, 仪器主体与稳压电源间电线长度大于 5 m。

6.5.2.3 磁日变测量系统的安装要求见 5.9.4。

6.6 设备检修与维护

6.6.1 野外测量期间, 应定期检修仪器设备, 并记录备案。

6.6.2 无人机停飞期及非生产期间, 应每三个月对仪器设备进行维护, 并记录备案。

7 野外测量工作

7.1 开工前的仪器准备工作

7.1.1 试飞

为保证载荷设备安全, 无人机系统应装载模拟载荷进行试飞, 试飞内容如下:

- 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 系统安装调试与集成

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，然后进行安装、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、收录系统工作是否正常，数据下载传输是否正常。

7.1.3 系统静态测试

无人机及其机载航磁测量系统安装调试后，应完成不少于2 h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。

7.1.4 磁日变测量系统静态测试

根据要求选择磁日变观测点，并完成不少于24 h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。

7.1.5 地面测控站布置

7.1.5.1 野外实地踏勘，考察测区内地形、地貌、人文等情况，进行测控站通视分析。

7.1.5.2 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，合理制定测控站的布设方案。

7.1.5.3 在条件允许的情况下，优选最大测控范围站点。

7.1.5.4 根据实际工作任务需要，可适当增设测控站点。

7.1.6 航磁系统动态测试

航磁系统动态测试主要包括磁补偿飞行测试、方向差飞行。

a) 磁补偿飞行测试：

- 1) 在进行测线测量飞行前，需按照 5.12 条款完成无人机磁场补偿并达到相应的要求；
- 2) 宜在磁场变化最大不超过 200 nT 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，应重新补偿；
- 4) 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；
- 5) 进行磁补偿时应做磁日变观测并做相应的记录，以确定是否是静磁日；
- 6) 按 5.12.3 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。

b) 方向差飞行测试：

- 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测试飞行；
- 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 1 次~2 次；
- 4) 测试飞行时应记录磁日变数据。

7.2 测线飞行前的准备工作

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它控制点（如高度、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长正式下达飞行测量任务。飞行任务书内容参考附录 B.2。

7.2.1.3 机组人员应根据飞行任务书制定合理的飞行计划。

7.2.1.4 根据飞行计划宜进行飞行仿真，通过检验后用于无人机自主飞行测量。

7.2.2 每架次放飞前的准备工作

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 测量飞行作业

7.3.1 测线测量飞行

7.3.1.1 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，并认真填写飞行报告（参考附录 B.3）、测量工作记录卡（参考附录 B.4）等记录表格。

7.3.1.2 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；特殊情况下应手动避险时，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。

7.3.1.3 当测线分段测量飞行时，应采用接线法，分段衔接应保持 >2 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。

7.3.1.4 当测线磁测量飞行中，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。

7.3.1.5 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 秒~10 秒（根据无人机性能确定），无人机应忽略该问题；若失联时间大于 10 秒，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。

7.3.1.6 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），应返航检修。

7.3.1.7 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应返航，待故障解决后重新完成测量任务。

7.3.1.8 执行航空磁测测线测量任务过程中，若发现有意义的局部异常时，为获得详细异常特征，可增设加密测量测线。

7.3.2 控制线测量飞行

7.3.2.1 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。

7.3.2.2 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。

7.3.2.3 在一个测区使用多架飞机作业时，尽量使用测量工作状态较好的一套系统完成全区控制线测量。

7.3.3 基线测量飞行

7.3.3.1 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。

7.3.3.2 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，应包含磁场平稳区段和磁异常区段。

7.3.3.3 早、晚基线测量飞行时，应力求航迹、离地飞行高度相同。

7.3.3.4 可根据需要布置往返双向基线测量，用以检查航磁空中转向差变化情况。

7.3.3.5 当测区跨度较大需要变更起降点时，可重新布置基线。

7.3.4 滞后检查飞行

7.3.4.1 为检查并纠正测量系统的滞后现象，需做反方向的滞后检查飞行。

7.3.4.2 滞后检查飞行的测线应选择在至少包含一个完整磁异常的的地段。

7.3.4.3 在同一条测试线上按测线设计高度相向飞行，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。

7.3.5 重复线测量飞行

7.3.5.1 重复线测量是质量检查的一部分。为评价资料质量，应安排重复线飞行，每个测区的重复线测量工作量不应少于 1 %。

7.3.5.2 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。

- 7.3.5.3 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。
- 7.3.5.4 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方的重复线测量飞行，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。
- 7.4.3 磁日变观测员应填写日变记录表（参考附录 B.5）。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 原始资料编录

- 7.5.1 每个有效架次测量飞行结束后，应提交下列原始资料：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。
- 7.5.2 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（机长、操作员、技术负责）和仪器型号等信息。
- 7.5.3 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。
- 7.5.4 记录内容填写要完整、准确。
- 7.5.5 对原始数据进行存储并备份。

7.6 原始资料现场检验

7.6.1 测试检验评价

7.6.1.1 航空磁力仪系统地面静态测试后，按 0.5 s（或等效为 0.5 s）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 之 8.3.2，静态噪声评价分级如下：

- a) 一级： $S_n \leq 0.01 \text{ nT}$ ；
- b) 二级： $0.01 \text{ nT} < S_n \leq 0.03 \text{ nT}$ ；
- c) 三级： $0.03 \text{ nT} < S_n \leq 0.10 \text{ nT}$ ；
- d) 四级： $S_n \geq 0.10 \text{ nT}$ 。

7.6.1.2 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。

7.6.1.3 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，求出实际使用的静态定位精度（均方差）应符合 5.8.2.1 要求。

7.6.1.4 航空磁力仪系统动态测试后，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 nT 。

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

7.6.2 数据预处理与质量评价

7.6.2.1 利用飞行时收录的定位数据绘制航迹。计算每架次（测量工作完成时，计算全测区）的平均偏航距和各偏航距组内及超过 5.8.2 中规定的偏航距出现的频数所占百分比，用于评价导航质量。

7.6.2.2 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 之 8.3.4。

7.6.2.3 统计航空磁力仪系统动态噪声水平，按 0.5 s（或等效为 0.5 s）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 之 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：

- a) 一级： $S_i \leq 0.08 \text{ nT}$ ；
- b) 二级： $0.08 \text{ nT} < S_i \leq 0.14 \text{ nT}$ ；
- c) 三级： $0.14 \text{ nT} < S_i \leq 0.20 \text{ nT}$ ；

d) 四级： $S_i > 0.20$ nT（为不合格资料）。

7.6.2.4 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。

7.6.2.5 将磁日变数字记录数据转换为模拟记录纸卷，依据模拟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：

- a) 一级：包络线幅值 ≤ 0.10 nT；
- b) 二级： 0.10 nT $<$ 包络线幅值 ≤ 0.15 nT；
- c) 三级： 0.15 nT $<$ 包络线幅值 ≤ 0.20 nT；
- d) 四级：包络线幅值 > 0.20 nT（为不合格资料）。

7.6.3 原始资料验收

7.6.3.1 原始资料应进行野外工作组自检、互查，项目负责人和技术管理部门验收三级检查。

7.6.3.2 原始资料验收通过后，才能申请调机。

7.7 航磁局部异常检查

7.7.1 对有找矿意义和对推断解释有代表性的局部异常，应根据任务要求或需要安排不低于三级查证工作程度的地面检查工作。

7.7.2 异常检查的主要目的是：查明引起异常的地质原因，评价异常的地质、找矿意义。

7.7.3 异常检查方法及使用仪器应按 DZ/T 0071 中的规定执行。

7.7.4 异常检查工作结束后，应及时提交异常检查报告。

7.7.5 应重视对异常检查资料的分析与研究，异常检查结果应作为推断解释和报告编写的重要依据。

7.8 岩（矿）石标本采集与磁性参数测定

7.8.1 收集测区以往物性资料，如不能满足推断解释要求时，需要补充采集物性标本、测定磁性参数。

7.8.2 标本采集应选择岩矿石新鲜、未受污染、地质属性明确、施工安全、通行方便的基岩露头进行采样。

7.8.3 对工作区内各类能引起明显异常岩矿石进行必要的磁性参数测定，测点的分布应具有地质构造代表性，宜均匀分布在工区内的岩石出露区；对于隐伏的地质单元，宜在测区周围岩石出露区测定各类岩石磁性；当测区内有钻孔时，应测定其岩心磁性或收集孔中磁化率、磁场测量资料。

7.8.4 每个地质单元的标本数不少于 30 件（10 个采集点），对能引起明显异常的岩矿石宜加大标本采集数量；对于半固结、固结的岩矿石标本，体积应不小于 5 cm \times 7 cm \times 9 cm，形态尽可能为标准的长方体；对松散沉积物，应使用规格化（盒高 22 mm、直径 25 mm 的圆柱状体或边长 20 mm 的立方体）塑料盒采集标本；对于岩屑样品，可使用标本袋或无磁规格化塑料盒取样，标本质量以 30 g \sim 50 g 为宜。

7.8.5 用于定量反演的物性参数需采集定向标本，采集定向标本时，应根据采样介质、采样工具选择定向方法。定向标本应在现场标注水平面垂直方向及指北方向。

7.8.6 野外现场应对岩石命名和简单描述，命名可参考地质资料，必要时可对标本进行岩矿鉴定。

7.8.7 用于物性测定的仪器应在标定有效期内。

7.8.8 岩（矿）石磁性参数测定应包含磁化率（ κ 值）和剩磁（ J_r ）强度，定向标本磁性参数测定应包括磁化率（ κ 值）和剩磁（ J_r ）强度、倾角和偏角。

7.8.9 岩（矿）石磁性成果应以常见值（中值或平均值）、最大值与最小值体现，磁性资料一般按层位、时代和岩性分类统计。

8 数据处理与图件编制

8.1 数据处理

8.1.1 数据处理软件要求

航磁数据应使用经过鉴定并获得批准的数据处理方法和专用软件完成处理。

8.1.2 数据处理内容

数据处理包括：数据编辑、数据定位、数据校正、数据滤波、数据调平、位场转换等内容。

8.1.3 数据编辑

8.1.3.1 将野外预处理后的各架次数据转换成统一的数据库格式，并保存到数据库。

8.1.3.2 将全区分架次数据合并成全测区数据库，并对数据库作必要的编辑。要求数据齐全，测线号唯一，如同一条测线分为几段测量，应以不同段号区分。

8.1.3.3 修正不正常的人为干扰数据。

8.1.4 数据预处理

选择符合规定的坐标系与投影，并将航空磁测收录的导航定位坐标归算到选定的坐标系：

- 成图比例尺大于等于 1:50 万时，使用国家规定的相应比例尺的地理坐标系（一般为克拉索夫斯基椭球坐标系），一般采用高斯投影；
- 海域大面积测量与航磁成图处理一般采用墨卡托投影，并在测区中心选择标准纬线。

8.1.5 数据校正

航磁 ΔT 测量原始数据的校正主要包括地球正常场校正、飞行方向差校正、飞行海拔高度校正、磁日变校正、滞后校正等，主要校正内容包括以下各项：

- 地球正常场校正。应按照国家规定，使用有效的国际地磁参考场值（IGRF），计算方法及模型系数见附录 C。
- 飞行方向差校正。按进行飞机磁场软补偿时收录的飞机姿态（方向角、俯仰角及摇摆角等）与其他相应影响的值，对航磁数据进行校正。
- 飞行海拔高度校正。飞行海拔高度校正即正常场磁场垂向梯度校正。主要根据测量飞行的海拔高度差值，由国际地磁参考场值（IGRF）计算校正。
- 磁日变校正。根据磁日变站实测记录，对航空磁测原始数据作逐点校正。
- 滞后校正。根据反方向重复线飞行测量结果计算并作逐点校正。

8.1.6 磁场水平调整

在航空磁测中，不同飞行架次间的测量数据存在的磁场值水平不一致现象，影响磁异常的识别和成图质量。因此，需在测量任务结束后，利用测线与切割线交叉点观测的结果，对磁测数据进行磁场水平调整处理，使各测线统一到同一水平上。

- 软件自动调平。采用经验证的航空磁测磁场水平调整软件，在剔除测线与切割线交点磁场值较大的交点后，进行计算处理，采用统计估算方法对参与计算的切割线和测线交叉点的磁场作最大随机校正，使全区测线统一到同一水平上。
- 磁场水平微调。在经软件自动调平后，数据中可能仍残留细微的基值不水平干扰和噪声干扰，需对自动调平后的数据进行磁场水平微调处理，从而突出有用异常，进一步提高数据成图质量。

8.1.7 航空磁测总精度评价

航磁数据经各项改正后计算航磁调平前和经过切割线精细调平后，分别计算总精度。调平前和调平后总精度计算方法均采用切割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，其计算公式见式（3）：

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

式中：

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；

σ 、 δ_i 的单位为 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。

8.1.8 位场转换

根据测量任务的要求与需要，需有针对性地进行航磁数据位场转换处理，如化、上延、垂向导数、水平梯度方向导数、剩余异常计算等处理，进一步突出航磁异常的空间形态，便于资料的分析解释。见 DZ/T 0142-2010 之附录 F。

8.2 图件编制

8.2.1 基础性图件编制

8.2.1.1 基础图件

航磁数据处理结束后，应编制以下基础性图件：航磁剖面平面图、航磁等值线平面图、航磁测网分布图（航迹图）、飞行高度剖面平面图等。

8.2.1.2 基础图件成图比例尺

基础图件包括航测剖面平面图、航磁等值线平面图、航磁测网分布图等，采用的成图比例尺按以下要求：

- 航磁剖面平面图的成图比例尺应等于实际测量比例尺，其纵比例尺最大为图上 1 mm 所代表的值不应小于公式 (3) 计算出 σ 的三分之一。
- 航磁等值线平面图的成图比例尺应等于实际测量比例尺，等值线间距应等于或大于 2σ 。在平静磁场区，为显示微弱异常特征是，可用半间距作辅助线。
- 绘制航磁等值线平面剖面图网格间距应小于测线间距的 $1/4$ ，不应大于图面上 3 mm 所代表的距离。
- 航磁测网分布图（航迹图）和飞行高度剖面平面图成图比例尺一般小于测量比例尺。

8.2.2 位场转换图件

根据无人机航空磁测任务要求及在推断解释中的效果，可选择绘制以下成图比例尺小于测量比例尺的位场转换图件：航磁化极等值线平面图、向上延拓等值线平面图、垂向一次导数垂向二次导数等值线、方向导数等值线平面图、剩余异常等值线平面图等。

8.2.3 分幅成图

航空磁测各类图件可以根据具体情况进行分幅，一般应按以下要求进行分幅：

- 航空磁测工作，其面积达 3 幅以上同比例尺地形图面积时，其主要成果图件（平面图、剖面平面图等）采用国际分幅。
- 其他情况可采用自由分幅或方里网分幅。

9 资料推断解释

9.1 推断解释分类

航空磁测资料推断解释根据项目任务目标一般可分为以下四种类型：

- 区域性基础地质调查；
- 综合性和专属性固体矿产勘查；
- 油气资源调查；
- 水文地质工程地质与环境地质评价。

9.2 基本要求

9.2.1 航磁资料推断解释是航空磁测成果报告编写的基础。推断解释应遵循从已知到未知，定性解释与定量解释相结合的原则。在推断解释的基础上，编写成果报告和编制相应的推断成果图件。

9.2.2 航空磁测资料解释应根据项目任务目标充分收集工区地质、矿产、物探、化探、遥感和物性等资料，并对其进行整理及深入的分析研究。

9.2.3 航空磁测推断解释中应充分收集与利用实测的物性资料和异常查证资料。

9.2.4 航空磁测推断解释应根据任务目标需要，选择有针对性的位场转换处理方法并绘制位场转换图件。

9.2.5 航空磁测资料推断解释包括区域磁场解释和局部磁场解释两部分。

9.2.6 对推断解释成果的可靠性进行评价。

9.3 区域磁场解释

区域磁场解释需根据航测区内磁 ΔT 平面图件上的磁场面貌特征，对比相应地质构造单元，将测区进行磁场分区。结合已有的地质、物化遥等资料，研究解释分区磁场反映的区域地质构造特征。

9.4 局部磁场解释

9.4.1 基本要求

局部异常解释需在对测区已知岩体、地层、构造、矿床的地球物理特征进行分析，建立航空物探解释标志的基础上，选编航空物探异常，分析异常的性质、成因及地质找矿意义，对每个航磁局部异常进行推断解释。

9.4.2 航磁局部异常选编

9.4.2.1 区域性、综合性和专属性固体矿产航磁局部异常

9.4.2.1.1 航磁局部异常确定原则

在区域性、综合性和专属性航空磁测中。局部磁场变化大于或等于测线总精度的两倍，并且与一定的地质现象相联系时，即为局部异常。对小于测量总精度两倍。但与地质任务关系密切的弱异常也应加以分析。在实际作中，应结合地质任务、磁场特点和地质构造等综合分析确定。

9.4.2.1.2 航磁局部异常编号

在综合性和专属性矿产航空磁测中，经分析确定的航磁局部异常均需编号。依据下述原则进行编号：

- a) 按“省简称C—年份—4位序号”顺序编号；
示例：青C—2020—0001
- b) 跨年度飞行的按测量年份编号；
- c) 早期发现的航磁异常原则上沿用原有航磁异常编号。

9.4.2.2 油气资源调查航磁局部异常选编

9.4.2.2.1 航磁局部异常确定原则

选择位于坳陷(凹陷)内及其边缘构造地带，所反映的构造或磁性体有一定的埋藏深度、反映明显的局部异常。

9.4.2.2.2 航磁局部异常编号

航磁局部异常编号依据下述原则：按“HC—年份—类别及3位序号”顺序编号。

示例：HC—2020—A001

“HC”代表航磁，“年份”指解释年份；“类别”指航磁局部构造异常成因分类结果(A、B、C、D、E)；“序号”指各类异常的序号，早期发现的航磁局部构造异常，原则上沿用原有编号。

9.4.2.3 其他航磁局部异常选编

水文地质、工程地质与环境地质航磁局部异常选编见9.4.2.1和9.4.2.2。

9.4.2.4 航磁异常登记表要求

凡编号的航磁局部异常，均应进行推断解释，并填写航磁异常登记表，作为成果报告附件上交。

9.4.3 航磁局部异常定性、定量解释

9.4.3.1 航磁局部异常定性解释应根据物性、地质等综合资料和航磁局部异常特点，结合工作地区地质构造、矿产及其他物探资料，判断引起磁异常的地质原因。

9.4.3.2 重点航磁局部异常应在定性解释的基础上进行定量计算与解释，已知和推断矿致异常解释结果(位置、埋藏深度、规模等信息)应标注在推断的地质图上。

9.4.3.3 对航磁局部异常进行磁性体顶面埋藏深度计算。

9.4.3.4 航磁局部异常定性和定量解释结果，应经过其他技术人员审核。

9.4.4 航磁异常分类

9.4.4.1 固体矿产航磁异常分类

在航磁局部异常定性解释基础上，按航磁 ΔT 异常所处的地质环境、找矿意义和以往工作程度，对航磁异常进行分类，划分为甲、乙、丙、丁四大类。分类原则如下：

- a) 甲类异常。为矿致异常，可分两个亚类：
 - 1) 甲1类异常。已知矿引起、推断还有找矿潜力的异常。
 - 2) 甲2类异常。已知矿引起、推断进一步找矿潜力不大的异常。
- b) 乙类异常。推断具有找矿意义的异常，分三个亚类：
 - 1) 乙1类异常。推断矿体引起的异常。
 - 2) 乙2类异常。推断含矿地质体或地质构造引起的异常。
 - 3) 乙3类异常。推断具有找矿意义的地质体或构造引进的异常。
- c) 丙类异常。性质不明异常。按目前工作程度和认识水平，无法判明其找矿意义的地质体或地质构造等引起的异常。
- d) 丁类异常。按目前工作程度和认识水平，认为不具备找矿意义的岩性引起的异常地质成因不明的异常。

9.4.4.2 油气资源调查航磁异常分类

在航磁局部异常定性和定量解释基础上，按航磁 ΔT 异常所反映的地质成因，划分为A、B、C、D、E五大类，分类原则如下：

- a) A类。基岩凸起异常，指磁性基底局部构造高点。
- b) B类。中—基性侵入岩异常，一般指基性侵入岩的范围。
- c) C类。中酸性侵入岩异常，指中酸侵入岩的范围或局部高点。
- d) D类。火山岩异常，推断与火山岩有关的局部异常。
- e) E类。与沉积层有关的异常。

9.4.4.3 其他航磁异常分类

水文地质、工程地质与环境地质航磁局部异常分类参照9.4.4.1或9.4.4.2规定执行。

9.5 推断解释图件编制

根据航空磁测目的任务要求，视情况选择编绘以下推断解释图件：

- a) 推断岩性构造图；
- b) 航磁异常分布及找矿远景预测图；
- c) 磁性体最小埋藏深度图；
- d) 磁性基岩深度图；
- e) 推断基底岩相构造图；
- f) 推断区域地质构造图；
- g) 局部构造异常及油气远景评价图；
- h) 其他解释图。

10 成果报告编写与提交

10.1 成果报告编写

10.1.1 编写要求

10.1.1.1 原始资料经验收合格后，应由项目负责人组织成果报告的编写。

10.1.1.2 应按航空磁测勘查项目任务规定编写成果报告，一个项目编写一份报告。多年性工作项目，除在全部工作结束时编写最终成果报告外，应在每年年终或工作的某些阶段编写年度或阶段性报告。

10.1.1.3 成果报告编写应在全面深入地掌握实际材料的基础上，通过综合分析、研究，在形成充分认识及推断解释的基础上编写。

10.1.1.4 成果报告编写要围绕主要地质任务，内容层次清晰、立论严谨、观点明确，结论要有充足的地球物理依据，与推断解释图件表达的内容一致。

10.1.1.5 成果报告要文字简练，层次分明，文图呼应，术语规范。技术符号应符合 GB/T 14499 的要求。

10.1.1.6 无人机航空磁测成果报告编写格式参考地质调查报告编写相关要求及资料汇交要求。

10.1.2 主要内容

成果报告应包括下列主要内容（详细编写提纲参考DZ/T 0142-2010之附录G。）：

- a) 概括介绍工作目的与任务完成情况；
- b) 工作方法及质量；
- c) 地质、地球物理特征；
- d) 工作成果；
- e) 结论与建议。

10.1.3 成果报告附图

无人机航空磁测成果报告中应附的图件主要包括：基础图件、转换图件、解释图件。无人机航空磁测基础图件有：

- a) 航空磁测剖面平面图；
- b) 航空磁测等值线平面图；
- c) 航空磁测测网分布图；
- d) 航空磁测飞行离地高度剖面平面图。

10.1.3.1 航空磁测数据转换图件，应选择解释中作用效果好的作为报告附图。

10.1.3.2 航空磁测成果解释图件，应根据项目任务目标及要求选择 9.5 条款中推断解译图件作为报告附图。

10.2 成果报告提交

10.2.1 成果报告应经承担单位初审后，向项目主管单位提出评审验收申请。

10.2.2 项目主管单位组织专家进行评审，项目承担单位应提交成果报告送审稿和全套附图、其他有关资料。

10.2.3 成果报告应经项目主管一单位评审验收、项目承担单位修改合格后，按要求提交资料。

地方标准信息服务平台

附录 A (资料性) 无人机航空磁测工作设计编写提纲

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、提交成果等及有关要求。

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、降雨分布图等）。

A.1.3 测区范围及工作量

简述测区位置、测区经纬度、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

简述工作区地质、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它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

简述选用无人机平台组成、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；地面测控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

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. 2. 5 飞行测量仪器操作及要求

每架次飞行前的测线规划及起飞前、落地后和飞行中的无人机航磁工作要求，飞行生产阶段无人机航磁测量系统维护与检测环节的工作程序及技术要点。

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技术和要求达到的测量精度。

A. 5. 2. 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. 5. 2. 4 数据处理及编图

简述处理成图使用的软件系统、各项改正、基础图件编制、提交的图件。

A. 5. 3 测量质量评价

简述测量成果质量情况，评价质量等级。

A. 6 推断解释方法和预期成果

A. 6. 1 成果解释思路

简述航空物探解释的基本思路，拟采用的数据转换处理方法，解释的技术路线等。

A. 6. 2 预期成果与提交时间

提交阶段性和最终成果的名称、图件种类及验收时间。

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、生产安全措施等。

地方标准信息服务平台

附 录 B
(资料性)
无人机航磁测记录表

无人机航磁测量系统验收表见表B.1。

表B.1 无人机航磁测量系统验收表

项目名称					
系 统 组 成	设备编号	设备名称	设备编号	设备名称	
系统安装地点				安装时间	
航空磁力仪静态测试					
要求	响应时间(s) ≤1	转向差(nT) ≤1.0	一致性(nT/5h) ≤0.5	静噪声(nT) ≤0.01	稳定性(抖动度 nT) ≤0.1
实测					
地面磁力仪静态测试					
要求		静噪声(nT) ≤0.01		稳定性(抖动度 nT) ≤0.1	
实测					
磁日变站					
地点		探头中心 2 m 半径空间最大内磁场变化 (要求小于总精度的 1/2)		探头与建筑物最小距离(要求大于 15 m)	
飞机磁场补偿					
补偿方式		补偿精度:(要求优于 0.08 nT)			
软补偿					
是否进行了雷达高度标定飞行					
测量系统试飞情况					
提交资料					
系统评价意见	签字 _____ 年 月 日				
验收组成员	组长: 成员:				
主管部门意见	签字 _____ 年 月 日				

无人机航磁测量系统验收表见表B. 2。

表B. 2 无人机航空磁测飞行任务书

<p>项目名称: _____</p> <p>下达日期: 年____月____日 起降场地: _____</p> <p>飞机编号: _____ 测量工区: _____</p> <p>飞行日期: _____ 年度编号架次: _____</p> <p>测线规划: _____ (签字) 测线仿真: _____ (签字)</p> <p>预计飞行时间: _____ h 预计飞行高度: _____ m</p> <p>预计航路里程: _____ km 预计测线里程: _____ km</p>
<p>飞行任务: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>注意事项: 1. _____</p> <p>2. _____</p> <p>备用任务: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>飞行路线(区域)示意图:</p> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;"> </div>

野外队长: (签字)

机长(机组负责人): (签字)

无人机航空磁测飞行报告见表B.3。

表B.3 无人机航空磁测飞行报告

日期：_____年_____月_____日 编号(架次)：_____

起飞时间：_____时_____分 落地时间：_____时_____分

飞机编号：_____起降场地：_____

仪器型号：_____

测线编号：_____

飞行项目	测量公里 (km)	飞行时间		备注
		小时	分钟	
测线测量				
基线				
控制线				
重复线				
飞行质量	平均飞行高度 (m)	平均偏航距 (m)		备注
飞行航迹图				

机 长：(签字)

飞 行 员：(签字)

操 作 员：(签字)

技术负责：(签字)

注：所有原始记录均不得擦掉或涂抹，确实写错时可用笔划去另写。

无人机航空磁测工作记录表见表B. 4。

表B. 4 无人机航空磁测工作日常记录卡

测量日期： 年 月 日 测量地点： _____

天 气： 记录人员： _____（签名） 审核人： _____（签名）

序号	工作时间	观测航线	备 注
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
其它说明事项			

注：所有原始记录均不得擦掉或涂抹，确实写错时可用笔划去另写。

共 页 第 页

无人机航空磁测日变记录表见表B. 5。

表B. 5 无人机航空磁测日变记录表

测量日期： 年 月 日 测量地点： _____

天 气： 记录人员： _____（签名） 审核人： _____（签名）

序号	时间	观测起止时间	备 注
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
其它说明事项			

注：所有原始记录均不得擦掉或涂抹，确实写错时可用笔划去另写。

共 页 第 页

附录 C

(规范性)

国际地磁参考场(IGRF)及地磁正常场校正

C.1 地磁正常场的计算

IGRF 能较好地表示地磁场的分布特点。因此,规定统一采用 IGRF 对航空磁测数据进行地磁正常场校正或地磁正常场水平梯度校正。

C.2 地磁场各分量的球谐表达式

地磁场是位场,假定只有内源场,外源场为零,则地磁场的各分量见式(C.1):

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \cdot \frac{d}{d\theta} p_n^m(\cos\theta) \\ Y &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} \frac{m}{\sin\theta} (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) \cdot p_n^m(\cos\theta) \\ Z &= -\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (n+1) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+2} (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \cdot p_n^m(\cos\theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

a——地心坐标系,国际参考球半径, a=6371.2 km;

r——从地心算起的径向距离(通过实测海拔高度及经纬度坐标求得);

θ ——地理余纬度 ($\theta=90^\circ-\Phi$);

Φ ——地理纬度;

λ ——从格林威治起算的地理经度;

g_n^m 、 h_n^m ——是球谐系数或高斯系数,可查表 C.1 求得。

$p_n^m(\cos\theta)$ ——施密特(Schmidt)准正校 n 阶 m 次缔合勒让德(Legendre)多项式,函数定义见式(C.2):

$$p_n^m(\cos\theta) = \frac{1}{2^n \cdot n!} \left[\frac{\varepsilon_m (n-m)! (1-\cos^2\theta)^m}{(n+m)!} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{d^{n-m}(\cos^2\theta-1)^n}{d(\cos\theta)^{n+m}} \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\text{式中: } \varepsilon_m = \begin{cases} 1 & m = 0 \\ 2 & m \geq 1 \end{cases}$$

C.3 国际地磁参考场（IGRF）2015.0 模型

IGRF2015.0 模型考虑了地球的扁率，它的有效使用期为 2015.0~2020.0。它包括地磁主要场和预测的长期变化模式，保证国际地磁参考场的精确度，并可以充分反映得到高质量的数据。

C.4 地磁正常场的校正

地磁正常场的校正按以下要求：

- 按地磁球谐表达式(C.1)编出程序；
- 采用表 C.1 中提供的国际地磁参考场(IGRF)模型系数，代入后进行计算；
- 按给出的测区内控制点经纬度(或测线某些点上实测经纬度值)，计算出具体 IGRF 值；
- 根据计算出的测区内控制点处的 IGRF 值，按测线内插出每个采样点处的 IGRF 值(Ti2)(见 8.1.6)；
- 当编制航磁 ΔT 图时，每个采样点实测位 Ti1 中减掉 Ti2 值。

表C.1 国际地磁参考场模型系数表

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
g	1	0	-30220	-30100	-29992	-29873	-29775	-29692	-29619.4	-29554.6	-29496.6	-29442.0	10.3
g	1	1	-2068	-2013	-1956	-1905	-1848	-1784	-1728.2	-1669.1	-1586.4	-1501.0	18.1
h	1	1	5737	5675	5604	5500	5406	5306	5186.1	5078.0	4944.3	4797.1	-26.6
g	2	0	-1781	-1902	-1997	-2072	-2131	-2200	-2267.7	-2337.2	-2396.1	-2445.1	-8.7
g	2	1	3000	3010	3027	3044	3059	3070	3068.4	3047.7	3026.3	3012.9	-3.3
h	2	1	-2047	-2067	-2129	-2197	-2279	-2366	-2481.6	-2594.5	-2708.5	-2845.6	-27.4
g	2	2	1611	1632	1663	1687	1686	1681	1670.9	1657.8	1668.2	1676.7	2.1
h	2	2	25	-68	-200	-306	-373	-413	-458.0	-515.4	-575.7	-641.9	-14.1
g	3	0	1287	1276	1281	1296	1314	1335	1339.6	1336.3	1339.9	1350.7	3.4
g	3	1	-2091	-2144	-2180	-2208	-2239	-2267	-2288.0	-2305.8	-2326.5	-2352.3	-5.5
h	3	1	-366	-333	-336	-310	-284	-262	-227.6	-198.9	-160.4	-115.3	8.2
g	3	2	1278	1260	1251	1247	1248	1249	1252.1	1246.4	1232.1	1225.6	-0.7
h	3	2	251	262	271	284	293	302	293.4	269.7	251.8	244.9	-0.4
g	3	3	838	830	833	829	802	759	714.5	672.5	633.7	582.0	-10.1
h	3	3	-196	-223	-252	-297	-352	-427	-491.1	-524.7	-537.0	-538.4	1.8
g	4	0	952	946	938	936	939	940	932.3	920.6	912.7	907.6	-0.7
g	4	1	800	791	782	780	780	780	786.8	798.0	809.0	813.7	0.2

表 C.1 国际地磁参考场模型系数表(续)

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
h	4	1	167	191	212	232	247	262	272.6	282.1	286.5	283.3	-1.3
g	4	2	461	438	398	361	325	290	250.0	210.7	166.6	120.4	-9.1
h	4	2	-266	-265	-257	-249	-240	-236	-231.9	-225.2	-211.0	-188.7	5.3
g	4	3	-395	-405	-419	-424	-423	-418	-403.0	-379.9	-356.8	-334.9	4.1
h	4	3	26	39	53	69	84	97	119.8	145.2	164.5	180.9	2.9
g	4	4	234	216	199	170	141	122	111.3	100.0	89.4	70.4	-4.3
h	4	4	-279	-288	-297	-297	-299	-306	-303.8	-305.4	-309.7	-329.5	-5.2
g	5	0	-216	-218	-218	-214	-214	-214	-218.8	-227.0	-230.9	-232.6	-0.2
g	5	1	359	356	357	355	353	352	351.4	354.4	357.3	360.1	0.5
h	5	1	26	31	46	47	46	46	43.8	42.7	44.6	47.3	0.6
g	5	2	262	264	261	253	245	235	222.3	209.0	200.3	192.4	-1.3
h	5	2	139	148	150	150	154	165	171.9	180.3	189.0	197.0	1.7
g	5	3	-42	-59	-74	-93	-109	-118	-130.4	-136.5	-141.1	-140.9	-0.1
h	5	3	-139	-152	-151	-154	-153	-143	-133.1	-123.5	-118.1	-119.3	-1.2
g	5	4	-160	-159	-162	-164	-165	-166	-168.6	-168.1	-163.2	-157.5	1.4
h	5	4	-91	-83	-78	-75	-69	-55	-39.3	-19.6	0.0	16.0	3.4
g	5	5	-56	-49	-48	-46	-36	-17	-12.9	-13.6	-8.0	4.1	3.9
h	5	5	83	88	92	95	97	107	106.3	103.9	101.0	100.2	0
g	6	0	43	45	48	53	61	68	72.3	73.6	72.8	70.0	-0.3
g	6	1	64	66	66	65	65	67	68.2	69.6	68.7	67.7	-0.1
h	6	1	-12	-13	-15	-16	-16	-17	-17.4	-20.3	-20.9	-20.8	0
g	6	2	15	28	42	51	59	68	74.2	76.7	75.9	72.7	-0.7
h	6	2	100	99	93	88	82	72	63.7	54.8	44.2	33.2	-2.1
g	6	3	-212	-198	-192	-185	-178	-170	-160.9	-151.3	-141.4	-129.9	2.1
h	6	3	72	75	71	69	69	67	65.1	63.6	61.5	58.9	-0.7
g	6	4	2	1	4	4	3	-1	-5.9	-14.6	-22.8	-28.9	-1.2
h	6	4	-37	-41	-43	-48	-52	-58	-61.2	-63.5	-66.3	-66.7	0.2
g	6	5	3	6	14	16	18	19	16.9	14.6	13.1	13.2	0.3
h	6	5	-6	-4	-2	-1	1	1	0.7	0.2	3.0	7.3	0.9
g	6	6	-112	-111	-108	-102	-96	-93	-90.4	-86.4	-78.1	-70.9	1.6
h	6	6	1	11	17	21	24	36	43.8	50.9	55.4	62.6	1
g	7	0	72	71	72	74	77	77	79.0	79.9	80.4	81.6	0.3
g	7	1	-57	-56	-59	-62	-64	-72	-74.0	-74.5	-75.0	-76.1	-0.2
h	7	1	-70	-77	-82	-83	-80	-69	-64.6	-61.1	-57.8	-54.1	0.8
g	7	2	1	1	2	3	2	1	0.0	-1.7	-4.6	-6.8	-0.5
h	7	2	-27	-26	-27	-27	-26	-25	-24.2	-22.6	-21.2	-19.5	0.4
g	7	3	14	16	21	24	26	28	33.3	38.7	45.2	51.8	1.3
h	7	3	-4	-5	-5	-2	0	4	6.2	6.8	6.5	5.7	-0.2

表 C.1 国际地磁参考场模型系数表(续)

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
G	7	4	-22	-14	-12	-6	-1	5	9.1	12.3	14.0	15.0	0.1
h	7	4	8	10	16	20	21	24	24.0	25.4	25.0	24.4	-0.3
g	7	5	-2	0	1	4	5	4	6.9	9.4	10.5	9.4	-0.6
h	7	5	23	22	18	17	17	17	14.8	10.9	7.0	3.4	-0.6
g	7	6	13	12	11	10	9	8	7.3	5.4	1.6	-2.8	-0.8
h	7	6	-23	-23	-23	-23	-23	-24	-25.4	-26.3	-27.6	-27.4	0.1
g	7	7	-2	-5	-2	0	0	-2	-1.2	1.9	4.9	6.8	0.2
h	7	7	-11	-12	-10	-7	-4	-6	-5.8	-4.6	-3.3	-2.2	-0.2
g	8	0	14	14	18	21	23	25	24.4	24.8	24.4	24.2	0.2
g	8	1	6	6	6	6	5	6	6.6	7.6	8.2	8.8	0
h	8	1	7	6	7	8	10	11	11.9	11.2	10.8	10.1	-0.3
g	8	2	-2	-1	0	0	-1	-6	-9.2	-11.7	-14.5	-16.9	-0.6
h	8	2	-15	-16	-18	-19	-19	-21	-21.5	-20.9	-20.0	-18.3	0.3
g	8	3	-13	-12	-11	-11	-10	-9	-7.9	-6.9	-5.6	-3.2	0.5
h	8	3	6	4	4	5	6	8	8.5	9.8	11.8	13.3	0.1
g	8	4	-3	-8	-7	-9	-12	-14	-16.6	-18.1	-19.3	-20.6	-0.2
h	8	4	-17	-19	-22	-23	-22	-23	-21.5	-19.7	-17.4	-14.6	0.5
g	8	5	5	4	4	4	3	9	9.1	10.2	11.6	13.4	0.4
h	8	5	6	6	9	11	12	15	15.5	16.2	16.7	16.2	-0.2
g	8	6	0	0	3	4	4	6	7.0	9.4	10.9	11.7	0.1
h	8	6	21	18	16	14	12	11	8.9	7.6	7.0	5.7	-0.3
g	8	7	11	10	6	4	2	-5	-7.9	-11.3	-14.1	-15.9	-0.4
h	8	7	-6	-10	-13	-15	-16	-16	-14.9	-12.8	-10.7	-9.1	0.3
g	8	8	3	1	-1	-4	-6	-7	-7.0	-4.9	-3.5	-2.0	0.3
h	8	8	-16	-17	-15	-11	-10	-4	-2.1	-0.1	1.6	2.1	0
g	9	0	8	7	5	5	4	4	5.0	5.6	5.5	5.4	0
g	9	1	10	10	10	10	9	9	9.4	9.8	9.5	8.8	0
h	9	1	-21	-21	-21	-21	-20	-20	-19.7	-20.1	-20.5	-21.6	0
g	9	2	2	2	1	1	1	3	3.0	3.6	3.5	3.1	0
h	9	2	16	16	16	15	15	15	13.4	12.7	11.5	10.8	0
g	9	3	-12	-12	-12	-12	-12	-10	-8.4	-6.9	-5.3	-3.3	0
h	9	3	6	7	9	9	11	12	12.5	12.7	12.8	11.8	0
g	9	4	10	10	9	9	9	8	6.3	5.0	3.1	0.7	0
h	9	4	-4	-4	-5	-6	-7	-6	-6.2	-6.7	-7.1	-6.8	0
g	9	5	-1	-1	-3	-3	-4	-8	-8.9	-10.8	-12.4	-13.3	0
h	9	5	-5	-5	-6	-6	-7	-8	-8.4	-8.2	-7.4	-6.9	0
g	9	6	0	-1	-1	-1	-2	-1	-1.5	-1.3	-0.8	-0.1	0
h	9	6	10	10	9	9	9	8	8.4	8.1	8.0	7.8	0

表 C.1 国际地磁参考场模型系数表(续)

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
g	9	7	3	4	7	7	7	10	9.3	8.8	8.4	8.7	0
h	9	7	11	11	10	9	8	5	3.8	2.9	2.1	1.0	0
g	9	8	1	1	2	1	1	-2	-4.3	-6.7	-8.4	-9.1	0
h	9	8	-2	-3	-6	-7	-7	-8	-8.2	-7.7	-6.1	-4.0	0
g	9	9	-1	-2	-5	-5	-6	-8	-8.2	-9.2	-10.1	-10.5	0
h	9	9	1	1	2	2	2	3	4.8	6.0	7.0	8.4	0
g	10	0	-3	-3	-4	-4	-3	-3	-2.6	-2.2	-1.9	-1.9	0
g	10	1	-3	-3	-4	-4	-4	-6	-6.0	-6.1	-6.2	-6.3	0
h	10	1	1	1	1	1	2	1	1.7	2.2	2.7	3.2	0
g	10	2	2	2	2	3	2	2	1.7	1.4	0.9	0.1	0
h	10	2	1	1	0	0	1	0	0.0	0.1	-0.1	-0.4	0
g	10	3	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-3.1	-2.4	-1.1	0.5	0
h	10	3	3	3	3	3	3	4	4.0	4.5	4.7	4.6	0
g	10	4	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-0.5	-0.2	-0.2	-0.5	0
h	10	4	4	4	6	6	6	5	4.9	4.8	4.4	4.4	0
g	10	5	6	5	5	5	4	4	3.7	3.1	2.5	1.8	0
h	10	5	-4	-4	-4	-4	-4	-5	-5.9	-6.6	-7.2	-7.9	0
g	10	6	4	4	3	3	3	2	1.0	0.3	-0.3	-0.7	0
h	10	6	0	-1	0	0	0	-1	-1.2	-1.0	-1.0	-0.6	0
g	10	7	1	1	1	1	1	2	2.0	2.1	2.1	2.1	0
h	10	7	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2.9	-3.5	-4.0	-4.2	0
g	10	8	0	0	2	2	3	5	4.2	3.8	3.1	2.4	0
h	10	8	3	3	4	4	3	1	0.2	-0.9	-2.0	-2.8	0
g	10	9	3	3	3	3	3	1	0.3	-0.2	-1.0	-1.8	0
h	10	9	1	1	0	0	-1	-2	-2.2	-2.3	-2.0	-1.2	0
g	10	10	-1	-1	0	0	0	0	-1.1	-2.1	-2.8	-3.6	0
h	10	10	-4	-5	-6	-6	-6	-7	-7.4	-7.9	-8.3	-8.7	0
g	11	0	0	0	0	0	0	0	2.7	3.0	3.1	3.1	0
g	11	1	0	0	0	0	0	0	-1.7	-1.6	-1.5	-1.5	0
h	11	1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.1	-0.1	0
g	11	2	0	0	0	0	0	0	-1.9	-1.9	-2.0	-2.3	0
h	11	2	0	0	0	0	0	0	1.3	1.4	1.7	2.0	0
g	11	3	0	0	0	0	0	0	1.5	1.4	1.7	2.0	0
h	11	3	0	0	0	0	0	0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	0
g	11	4	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.8	0
h	11	4	0	0	0	0	0	0	-2.6	-2.3	-1.8	-1.1	0
g	11	5	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.5	0.6	0
h	11	5	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	0.9	0.8	0

表 C.1 国际地磁参考场模型系数表(续)

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
g	11	6	0	0	0	0	0	0	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	0
h	11	6	0	0	0	0	0	0	-0.7	-0.6	-0.4	-0.2	0
g	11	7	0	0	0	0	0	0	0.7	0.5	0.4	0.2	0
h	11	7	0	0	0	0	0	0	-2.8	-2.7	-2.5	-2.2	0
g	11	8	0	0	0	0	0	0	1.7	1.8	1.8	1.7	0
h	11	8	0	0	0	0	0	0	-0.9	-1.1	-1.3	-1.4	0
g	11	9	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.1	-0.2	0
h	11	9	0	0	0	0	0	0	-1.2	-1.6	-2.1	-2.5	0
g	11	10	0	0	0	0	0	0	1.2	1.0	0.8	0.4	0
h	11	10	0	0	0	0	0	0	-1.9	-1.9	-1.9	-2.0	0
g	11	11	0	0	0	0	0	0	4.0	4.0	3.8	3.5	0
h	11	11	0	0	0	0	0	0	-0.9	-1.4	-1.9	-2.4	0
g	12	0	0	0	0	0	0	0	-2.2	-2.2	-2.1	-1.9	0
g	12	1	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	0
h	12	1	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.6	-0.9	-1.1	0
g	12	2	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0.3	0.4	0
h	12	2	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0.3	0.4	0
g	12	3	0	0	0	0	0	0	0.9	0.9	1.0	1.2	0
h	12	3	0	0	0	0	0	0	2.5	2.4	2.1	1.9	0
g	12	4	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	0
h	12	4	0	0	0	0	0	0	-2.6	-2.6	-2.5	-2.2	0
g	12	5	0	0	0	0	0	0	0.9	1.0	1.0	0.9	0
h	12	5	0	0	0	0	0	0	0.7	0.6	0.5	0.3	0
g	12	6	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0
h	12	6	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.6	0.7	0
g	12	7	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0.5	0.5	0
h	12	7	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0
g	12	8	0	0	0	0	0	0	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	0
h	12	8	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.1	0.3	0
g	12	9	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	0
h	12	9	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.2	0
g	12	10	0	0	0	0	0	0	-0.1	0.1	0.2	0.2	0
h	12	10	0	0	0	0	0	0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	0
g	12	11	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.5	-0.8	-0.9	0
h	12	11	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0
g	12	12	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.1	0.0	0.0	0
h	12	12	0	0	0	0	0	0	0.8	0.9	0.9	0.7	0
g	13	0	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0

表 C.1 国际地磁参考场模型系数表(续)

系数 符号	阶 次		DGRF									IGRF	SV
	n	m	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2015~2020
g	13	1	0	0	0	0	0	0	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	0
h	13	1	0	0	0	0	0	0	-0.9	-0.8	-0.9	-0.9	0
g	13	2	0	0	0	0	0	0	0.3	0.3	0.3	0.4	0
h	13	2	0	0	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.4	0
g	13	3	0	0	0	0	0	0	0.1	0.3	0.4	0.5	0
h	13	3	0	0	0	0	0	0	1.8	1.7	1.7	1.6	0
g	13	4	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.4	-0.5	-0.5	0
h	13	4	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.5	-0.6	-0.5	0
g	13	5	0	0	0	0	0	0	1.3	1.2	1.1	1.0	0
h	13	5	0	0	0	0	0	0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	0
g	13	6	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	0
h	13	6	0	0	0	0	0	0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0
g	13	7	0	0	0	0	0	0	0.7	0.8	0.8	0.8	0
h	13	7	0	0	0	0	0	0	0.7	0.6	0.5	0.4	0
g	13	8	0	0	0	0	0	0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0
h	13	8	0	0	0	0	0	0	0.3	0.2	0.1	-0.1	0
g	13	9	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.4	0.3	0
h	13	9	0	0	0	0	0	0	0.6	0.5	0.5	0.4	0
g	13	10	0	0	0	0	0	0	-0.1	-0.1	0.0	0.1	0
h	13	10	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.4	0.5	0
g	13	11	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0.4	0.5	0
h	13	11	0	0	0	0	0	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0
g	13	12	0	0	0	0	0	0	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	0
h	13	12	0	0	0	0	0	0	-0.5	-0.6	-0.5	-0.4	0
g	13	13	0	0	0	0	0	0	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	0
h	13	13	0	0	0	0	0	0	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	0

参 考 文 献

- [1] GJB 6703-2009 无人机测控系统通用要求
-

地方标准信息服务平台