

铁路隧道航空电磁法勘探规程

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	4
3 基本规定	5
4 全航空电磁法	7
4.1 一般规定	7
4.2 观测设计	7
4.3 仪器设备	8
4.4 数据采集	9
4.5 资料处理与成果解译	11
5 地空电磁法	14
5.1 一般规定	14
5.2 观测设计	14
5.3 仪器设备	18
5.4 资料采集	19
5.5 数据处理与成果解译	21
6 航空磁测	24
6.1 一般规定	24
6.2 观测设计	24
6.3 仪器设备	25
6.4 资料采集	26
6.5 数据处理与成果解译	28
7 航空放射性测量	31
7.1 一般规定	31
7.2 观测设计	31
7.3 仪器设备	34
7.4 数据采集	37
7.5 资料处理与成果解译	39
8 航空重力测量	42
8.1 一般规定	42
8.2 观测设计	42
8.3 仪器设备	43
8.4 数据采集	45
8.5 资料处理与成果解译	49
附录 A 地空电磁法发射数据记录班报	51
附录 B 地空电磁法接收端数据记录班报	52
附录 C 地空电磁仪器系统参数指标	53
附录 D 航空重力仪检测结果记录表	54
附录 E 航空重力仪测量质量统计表	55
附录 F 航空放射性测量记录表格	56
附录 G 航空伽玛能谱测量各项参数计算	59

1 总 则

1.0.1 为规范铁路航空物理勘探技术要求，丰富复杂艰险山区铁路工程物理勘探方法，提高勘察效率和质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于铁路航空物理勘探工作。

1.0.3 复杂艰险山区铁路航空物理勘探宜采用全航空电磁法、地空电磁法、航空磁测、航空放射性测量和航空重力测量等综合勘察技术，并应综合考虑勘察目的、勘察阶段、地形地质、气候环境、干扰因素、交通条件等因素综合选用航空物理勘探手段。

1.0.4 铁路航空物理勘探应采用综合勘探和综合分析方法，并积极应用新技术、新方法。

1.0.5 铁路航空物理勘探应遵守有关环境保护、水土保持及安全生产等方面的法律、法规。

1.0.6 铁路航空物理勘探除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准和中国工程建设标准化协会标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 全航空电磁法 airborne electromagnetic method

将电磁信号接收设备搭载在直升飞机等飞行平台上,观测发射装置激发的人工场源或天然形成的电磁场源在地下地质体产生的感应场信号,并分析其信号进而获取地下介质电性参数和特征。

2.1.2 地空电磁法 ground-air electromagnetic method

在测区附近地面上布设大功率场源,并向地下发射电磁场,在空中利用无人机等飞行平台搭载接收仪,观测地下地质体感应产生的电磁场信号,进而分析获取地下介质电性参数和特征。

2.1.3 航空磁测 aeromagnetic method

将航空磁力仪装载在飞行器上,通过观测和分析岩石、矿石(或其他勘探对象)磁性差异所引起的磁异常,进而研究地质构造、岩性界限以及矿产资源等目标体的分布规律。

2.1.4 航空放射性测量 airborne gamma-ray spectrometric survey

根据天然或人工放射性核素的伽玛射线能量差异,利用航空伽玛能谱测量系统确定地表岩石、土壤和大气中的钾、铀、钍和其它放射性核素含量及其分布的一种方法。

2.1.5 航空重力测量 airborne gravity survey

将航空重力测量系统装载在飞行平台上,通过观测和分析岩石、矿石(或其它勘探对象)密度差异引起地球重力场(异常),进而研究基础地质、矿产及能源等的一种地球物理方法。

2.1.6 正常场 normal field

物理场的相对平稳部分，又称背景场。

2.1.7 异常 anomaly

偏离正常场并超过一定数值的物理场。

2.1.8 物性 physical properties

探测对象所具有的物理性质。

2.1.9 视电阻率 apparent resistivity

在地下介质电阻率不均匀的情况下，用均匀介质的电阻率理论表达式计算得到的等效电阻率值。其数值与介质电阻率、介质形态和观测条件有关。

2.1.10 反演电阻率 inversion resistivity

根据观测的电磁场资料，采用反演方法计算所得到的地下断面电阻率。

2.1.11 资料解译 data interpretation

分析物探数据特征，确定探测对象的几何参数和物性参数，综合研究多种资料，判断引起异常的原因，说明成果的物理意义、地质意义和工程意义。根据解释深入的程度分为定性解释、定量解释和地质解释。

2.2 符 号

H ——磁场强度

dB/dt ——磁场强度随时间的变化率

ρ_s ——视电阻率

σ ——电导率

I ——发射电流为发射电流幅值，

AB ——发射导线长度，

ρ_E ——测区地下平均电阻率，

S_R ——接收系统灵敏度系数，

V_N ——环境噪声电压幅值。

3 基本规定

3.0.1 铁路工程地质勘察遇下列条件时，宜采用航空物理勘探技术：

1 艰险山区，人员难以到达、常规勘察设备运输困难，无法开展常规地面勘察工作。

2 高海拔高寒缺氧无人区或受自然生态环境保护，难以开展常规地面勘察工作。

3 不良地质和特殊岩土发育、线路比选方案较多的地区。

4 地形、地质条件复杂的桥梁、隧道、路基等工点。

3.0.2 铁路航空物理勘探应按收集资料、踏勘、编制计划、资料采集、资料处理、资料解释和报告编写的程序进行。

3.0.3 铁路航空物理勘探前，应收集和分析测区及邻区地质、地球物理、钻探、测绘、地形地貌、水文和气象等资料。

3.0.4 铁路航空物理勘探前，应前往测区现场踏勘，了解飞行作业条件，包括：管制测量区域空域的相关部门、空域繁忙程度、作业机场、夜航条件、空中与地面保障条件、交通条件、气候变化和生活保障等。

3.0.5 铁路航空物理勘探应在保证安全的条件下，采取措施尽量降低飞行高度，以提高地下地质体感应信号的强度。

3.0.6 铁路航空物理勘探技术成果应结合各类航空物探手段进行综合分析。

3.0.7 铁路航空物理勘探资料整理应和铁路勘察成果资料匹配，形成相应的图纸化表达，便于使用。

3.0.8 铁路航空物理勘探宜采用 CGCS2000 国家大地坐标系统和 1985

国家高程基准。

3.0.9 铁路航空物理勘探应进行重复线质量检查，重复线的测线长度应大于总测线长度的 5%。

3.0.10 铁路航空物理勘探仪器设备应定期检查、检定、标定和保养。

3.0.11 铁路航空物理勘探成果资料应及时交付给地质、线路和隧道等专业。

4 全航空电磁法

4.1 一般规定

4.1.1 大高差艰险山区长大深埋隧道地面物探实施困难时，可采用全航空电磁法。

4.1.2 全航空电磁法可分为全航空瞬变电磁法和全航空大地电磁法，探测时应根据隧道埋深选用或联合使用。

4.1.3 全航空电磁法可用于下列地质解译：

- 1** 岩体物性差异较大的地层界线。
- 2** 地质构造、断层产状和破碎带宽度。
- 3** 岩溶发育段落或富水岩体的空间分布特征。

4.2 观测设计

4.2.1 开展全航空电磁法数据采集前，应开展下列工作：

- 1** 资料收集与踏勘。
- 2** 确定测区范围及测线布置。
- 3** 通过现场试验确定飞行高度、速度等飞行参数，以及发射和接收装置工作参数。
- 4** 导航定位设备、高度测量设备应进行检查校验，并测试系统灵敏度、波形等参数。

4.2.2 全航空电磁法测线设计，应满足下列要求：

- 1** 尽量避开电磁干扰严重区域。
- 2** 测线不宜少于 3 条，在线路中线布置 1 条测线，其余测线在两侧对称平行布置测线。

3 最外侧两条测线间距离宜为勘探深度的 2 倍，布设多条测线时线间距向两侧逐渐变大。

4 测线纵向长度应在隧道两端适当外延，每端外延长度应大于勘探深度。

5 飞行过程中宜沿地形平稳、等高飞行，离地高度和飞行速度在安全前提下应尽量小。

4.3 仪器设备

4.3.1 在全航空瞬变电磁法资料采集时，使用物探仪器设备的主要部件和技术指标应符合下列规定：

1 主要部件应包括：发射装置、接收装置、GPS 定位计、雷达高度计以及数据采集与收录系统等。

2 全航空瞬变电磁仪器主要技术指标宜符合表 4.3.1 所列参数的规定。

表 4.3.1 全航空瞬变电磁法勘探仪器设备系统主要技术参数表

参数	技术指标
发射基频	$\leq 30\text{Hz}$
发射磁矩	$\geq 10000\text{Am}^2$
飞行速度	$\leq 100\text{km/h}$
采样率	$\geq 100\text{kHz}$
电流	$\geq 50\text{A}$
关断时间	$\leq 3\text{ms}$

4.3.2 在航空大地电磁法资料采集时，使用物探仪器设备的主要部件和技术指标应符合下列规定：

1 空中接收线圈、GPS 导航定位仪、资料收录系统、高度计等量程范围应满足勘探目的要求。

2 全航空大地电磁仪主要技术指标宜符合表 4.3.2 所列参数的规定。

表 4.3.2 航空大地电磁法勘探仪器设备系统主要技术参数表

参数	技术指标
采样率	$\geq 100\text{kHz}$
测量信号	Hx、Hy、Hz 或 Hz（空中），Hx、Hy（基站）
测量频率	最低频 $\leq 50\text{Hz}$ ，最高频 $\geq 1000\text{Hz}$

4.4.3 在全航空电磁法资料采集中，综合考虑安全性能、飞行高度、续航能力、载重量、吊挂载重等因素选用适宜的直升机作为飞行平台。

4.4 数据采集

4.4.1 全航空电磁法资料采集程序主要包括仪器设备系统组装、地面测试、空中测试及资料采集等，资料采集应按图 4.4.1 流程进行。

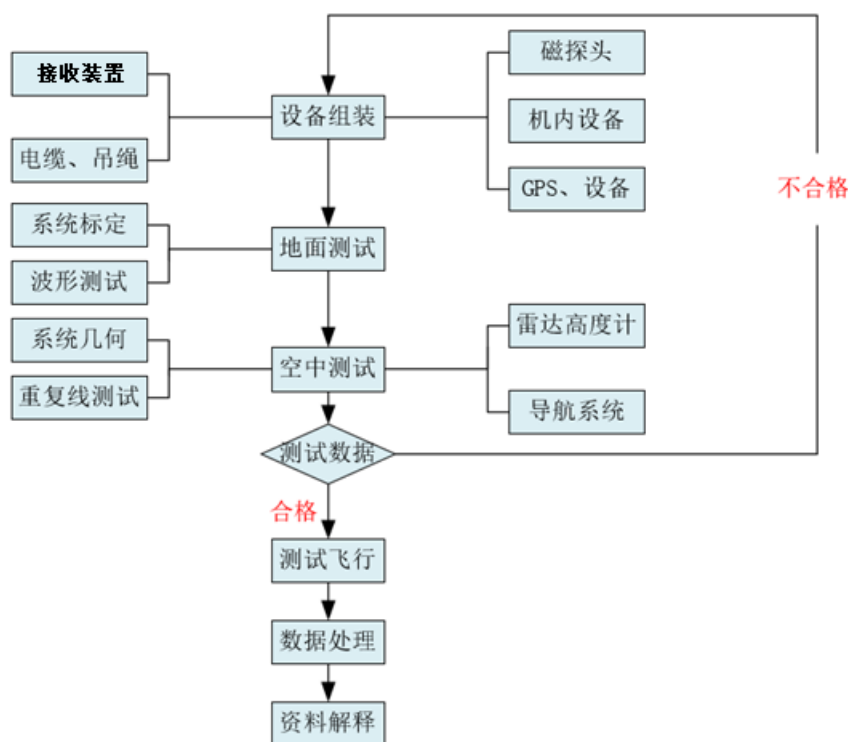


图 4.4.1 航空电磁法资料采集流程图

4.4.2 在全航空电磁法资料采集前，应对雷达高度计进行测试。

4.4.3 在全航空瞬变电磁法资料采集前，应对物探仪器设备系统进行系统灵敏度、系统几何和全波形系统标定等测试，测试应满足以下规

定：

1 系统灵敏度：系统测试灵敏度与系统出厂时灵敏度的比值应小于±10%的误差要求。

2 系统几何：线圈应保持水平姿态，并且发射线圈、接收线圈和补偿线圈应处于最优平面，吊挂结构合理，飞行过程平稳，不同分量的电磁测量参考值均应在正常范围内，变化规律符合实际情况。

3 全波形系统标定：标定文件资料应符合测量系统技术指标。

4.4.4 在全航空瞬变电磁法资料采集时，应先进行背景场测量，再进行测线飞行，最后再次进行背景场测量并符合下列规定：

1 背景场资料采集：每架次测线飞行前后均应进行背景场飞行。首先进行背景场飞行，待第一次背景场飞行完成、第一次测线飞行25~35min 后应进行第二次背景场飞行；待第二次背景场飞行完成、第二次测线飞行一小时后应进行第三次背景场飞行，直至该架次飞行结束。背景场飞行高度宜为800~1000m，飞行时间2~3min。

2 测线飞行资料采集：测线飞行时应沿地形平缓起伏飞行，线圈离地高度应不大于150m，飞行速度≤100km/h。

3 测线资料质量：同一测线沿不同方向飞行采集资料时，电磁响应形态和波形应基本一致。

4 背景场动态噪声：背景场晚期道Z分量dB/dt的噪声水平应小于1nT/s。

4.4.5 在全航空大地电磁法资料采集前，应对物探仪器设备系统进行系统几何、基站线圈脉冲发生器及干扰信号强度、机载线圈脉冲信号器等测试，测试应满足以下规定：

1 系统几何：线圈应保持水平姿态、吊挂结构合理以及飞行过程平稳。

2 基站线圈脉冲发生器及干扰信号强度：基站线圈电磁响应与测试信号的峰值和频率应基本一致，基站附近电力线监测信号强度应小于 1.2dB。

3 机载线圈脉冲信号器：机载线圈电磁响应与测试信号的峰值和频率应基本一致。

4.4.6 在全航空大地电磁法资料采集时，应先进行基站测试，再进行测线飞行。其中，测线飞行应满足下列规定：

1 线圈离地高度：不大于 180m，飞行速度小于 100km/h。

2 测线资料质量：在同一测线采取不同飞行方向采集资料时，电磁响应形态和波形应基本一致。

4.5 资料处理与成果解译

4.5.1 在全航空电磁法资料处理中，应使用全航空电磁法专业资料处理软件系统。

4.5.2 资料处理的最终结果为应包括：

1 由多条测线组合资料处理的线路中线三维联合反演电阻率断面图。

2 全航空瞬变电磁法勘探中线三维反演电阻率断面图。

3 全航空大地电磁法勘探中线三维反演断面图。

4 全航空大地电磁法勘探中线三维反演电阻率断面图。

4.5.3 全航空瞬变电磁法资料处理分为预处理和资料处理两部分，两部分资料处理的主要流程应包括：

1 预处理流程：背景场去除、天电噪声去除、运动噪声去除、抽道。

2 资料处理流程：记录点位置校正、时间常数计算、电阻率深度成像。

4.5.4 全航空大地电磁法资料处理的主要流程应包括：响应计算、视电阻率二维反演、视电阻率三维联合反演。

4.5.5 全航空电磁法资料解释应在综合分析地质调绘、钻探和全航空电磁法勘探资料的基础上，除遵循从已知到未知、先易后难、点面结合、反复认识、定性指导定量的总体原则外，还应符合下列规定：

1 综合分析线路中线三维联合反演电阻率断面图以及地质资料，以物探资料为主、地质资料为辅。

2 考虑反演电阻率断面图中的背景值、低阻异常形态、低阻异常值及其梯度值等因素，对主要地层界线、断层破碎带以及岩体的破碎、软弱、岩溶发育和含水程度进行判释。

3 根据反演电阻率断面图中异常的形态和梯度带位置准定量确定异常边界。

4 结合地质资料，把反演电阻率断面图中向下贯通延伸的电阻率梯度带或向下贯通延伸的条带状低阻异常解释为断层破碎带。

5 根据反演电阻率断面图中电阻率值的相对大小、由低至高，把其余低阻异常和区域分为物探Ⅴ类异常、物探Ⅳ类异常、物探Ⅲ类异常以及物探Ⅱ类区域，分别对应极破碎、极软弱、岩溶强烈发育或富水岩体；破碎、软弱、岩溶中等发育或含水岩体；较破碎、较软弱或岩溶弱发育岩体以及较完整岩体。

4.5.6 根据反演电阻率断面图特征、结合地质资料，应沿线路方向对隧道分段进行解释，解释结果应包括对主要岩性界线、断层破碎带、物探Ⅴ类异常、物探Ⅳ类异常、物探Ⅲ类异常和物探Ⅱ类区域等的划分。

4.5.7 全航空电磁法勘探成果文件中，技术报告应按隧道名称独立编写，报告内容应包含下列内容：

- 1** 任务依据和目的要求。
- 2** 地形地质概况和地球物理特征。
- 3** 资料采集，应包括测线布置、仪器设备、飞行平台、资料采集程序、质量评价等。
- 4** 资料处理，应包括全航空瞬变电磁法和全航空大地电磁法的资料处理主要流程及处理参数等。
- 5** 资料解释，应包括资料解释原则、资料分析和解释结果等。
- 6** 结论与建议。
- 7** 附图。

5 地空电磁法

5.1 一般规定

5.1.1 大高差艰险山区一般隧道地面物探实施困难时，且测区附近适合布设场源时，可采用地空电磁法。

5.1.2 地空电磁法可用于下列地质解译：

- 1 岩体物性差异较大的地层界线。
- 2 地质构造、断层产状和破碎带宽度。
- 3 岩溶发育段落或富水岩体的空间分布特征。

5.1.3 地空电磁法可分为地空频率域电磁法和地空时间域电磁法，探测时应根据探测目的和隧道埋深合理选用。

5.2 观测设计

5.2.1 地空频率域电磁探测应采用赤道装置。测量空中垂直磁场，接收测线分布在供电电极两侧各 120° 倾角的范围之内，如图 5.1.1 所示。

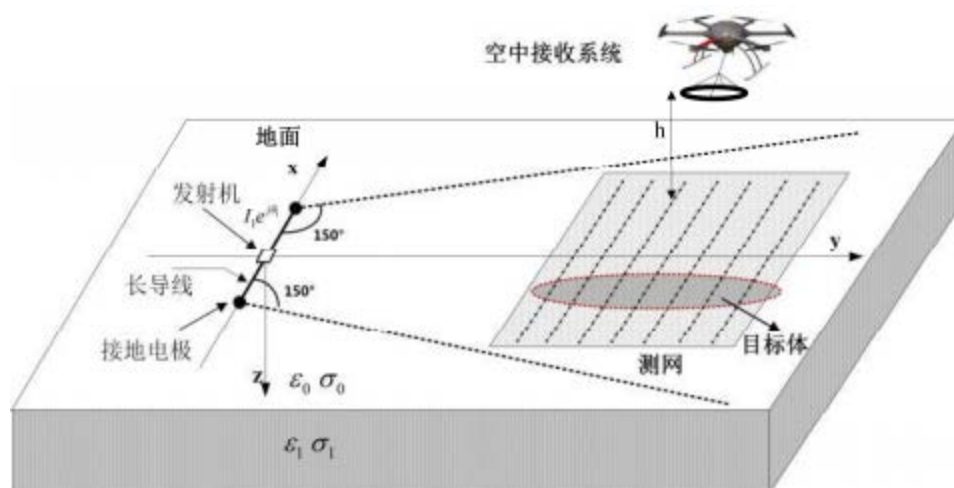


图 5.1.1 地空频率域电磁法测线布置示意图

地空时间域电磁探测采用赤道装置。测量空中垂直电磁场，接收测线分布在供电电极两侧且与供电电极平行，如图 5.1.2 所示。

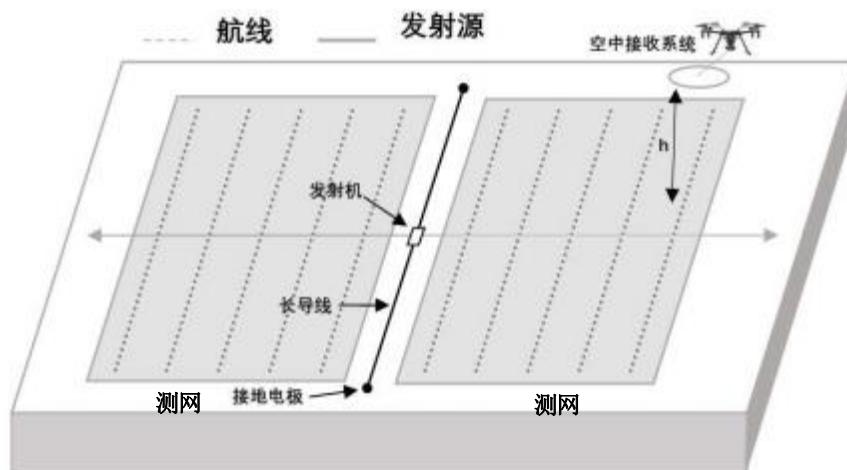


图 5.1.2 地空时间域电磁法测线布置示意图

5.2.2 供电电极长度 AB 应根据实际地形进行设计，频率域方法中供电电极长度应满足辐射全部测网；时间域方法中供电电极长度 **AB** 应不小于单条测线长度并保证覆盖全部测线，以达到足够的信噪比。**AB** 极距宜取 1~3km。

5.2.3 收发距离 应依据探测深度、测区地层、岩石电阻率、信噪比等因素确定。

1 地空频率域电磁法的收发距应在保证信噪比前提下，收发距 r 应尽可能满足远区测量条件。最小收发距离应大于目标体最大埋深的 3 倍以上，按式 5.2.3-1 计算：

$$r_{\min} > 3h_{\max} \quad (5.2.3-1)$$

式中： $r_{\min}$ ——最小收发距离；

$h_{\max}$ ——目标体最大埋深。

最大收发距离 ($T_{\max}$) 应保证测量信号大于环境噪声，设计原则按式 5.2.3-2 计算：

$$T_{\max} \leq \sqrt[4]{\frac{3IAB\rho_E S_R}{4\pi V_N}} \quad (5.2.3-2)$$

式中：I ——为发射电流为发射电流幅值；

AB ——为发射导线长度；

ρ_E ——为测区地下平均电阻率；

S_R ——为接收系统灵敏度系数；

V_N ——为环境噪声电压幅值；

$T_{\max}$ ——最大收发距离。

在理论设计之后，需通过野外飞行实验，根据具体的噪声水平，进一步确定实际可用的测量范围。

2 地空时间域电磁法接收信号受发射源的一次场影响较大，因此近源端测线与场源距离不宜过小，应不小于 100m，远源端距离场源视空中接收系统能力而定，应保证所需时间道信号宜大于 10db。

5.2.4 工作频段

1 地空频率域电磁法技术设计中，根据勘查地质目标深度的要求在确定探测深度范围后，根据最大探测深度、最小探测深度和测区介质的平均电阻率确定所需的工作频段，其中最低工作频率和最高探测频率按式 5.2.3-3 和式 5.2.3-4 计算。

$$f_L = (356 / h_{\max})^2 \cdot \rho_E \quad (5.2.3-3)$$

式中： $h_{\max}$ ——最大探测深度；

f_L ——最低工作频率；

$$f_h = (356 / h_{\min})^2 \cdot \rho_E \quad (5.2.3-4)$$

式中： $h_{\min}$ ——最大探测深度；

f_h ——最高探测频率；

ρ_E ——平均电阻率；

对于测区介质平均电阻率的估计，可根据收集或者采集的岩石物性样品的电阻率值、测井电阻率值，以及测区以往经验估算。对于高频发射，随着发射频率的增高，发射系统的电抗增加，实际发射电流下降，有效信号减弱，信噪比下降。对于低频发射，在降低发射频率时，由于系统运动噪声在低频较高，信噪比同样会减小。实际测量时，应根据具体的噪声特征，发射系统性能，对设计的频点进行适当调整。

2 地空时间域电磁法在时间域的发射电流频率可以为 6.25Hz、12.5Hz 和 25Hz，对应 120ms、80ms 和 40ms 三个发射电流周期，不同周期用于不同的探测深度。随着发射电流频率的增大，电流周期成倍数减小，因此深度随发射电流频率增大而减小，时域探测中根据电阻率和采样时间计算探测深度按式 5.2.3-5 计算。结合实际探测经验，在探测 200m 内的目标体宜采用 25Hz 发射频率，探测更深的目标体时宜采用 6.25Hz 或更低发射频率。

$$\delta(t) = \sqrt{\frac{2t - t_0}{\mu\sigma}}, \delta(t \leq t_0) = 0 \quad (5.2.3-5)$$

式中： t ——为抽道时间；

t_0 ——发射电流关断时间；

$\delta(t)$ ——视深度；

σ ——大地电导率；

5.2.6 开展地空电磁法数据采集前的准备工作应符合本规程第 4.2.1 条的规定。

5.2.7 地空电磁法野外数据采集除应满足本规程第 4.2.2 条的规定外，

发射源还应布设在构造简单、电性均匀、接地电阻较小的地方，并避开矿山、水域、平行的断裂构造等区域。

5.3 仪器设备

5.3.1 仪器设备的主要性能指标应达到地空电磁方法技术的要求或设计书的要求，不符合要求的仪器设备不得用于生产。

5.3.2 仪器设备应建立专门档案并指定专人负责，严格按照使用说明书的规定使用、维护和管理。

5.3.3 仪器设备存放场所应避开阳光直射，保持通风、干燥、清洁和无腐蚀气体；运送、使用中应轻放，以及防尘、防雨、防冻、防暴晒。

5.3.4 仪器设备长时间存放应定期通电检查，有充电电池的仪器，应定期充放电维护。

5.3.5 供电电极 A、B 应坚固耐用，导电性能良好，可选用铜板、铜丝网、铝箔或采用铁或钢制的金属棒电极，其规格和数量可根据工区接地条件及供电电流强度选定。金属棒电极长度宜为 60cm~100cm，直径宜为 1.6cm~2.2cm。在接地电阻大或需要大供电电流工作的地区，宜用铜板等片状电极。水上施工时，常用铅电极。供电导线的规格和长度应根据用途、电极距大小、供电电流强度和测区自然条件选择。一般供电导线应选择内阻小、绝缘性能好、轻便、强度高的多芯全铜线，其内阻应小于 $8\ \Omega/\text{km}$ 。

5.3.6 地空电磁法仪器设备检测与标定应符合下列规定：

1 每个测区工作前和工作期间应视工期长短对接收机、发射机、无人飞行平台及其附属设备进行检测与标定。接收机具有自检功能的，应定期进行自动校准检测。接收线圈定期进行标定。仪器设备各项指标合格后方可进行野外工作。

2 数据采集开工前和收工后应对发射仪器进行测试，测试其发射脉冲波的前沿上升时间和电流纹波，施工期间定期测试，两次测试间隔不大于一个月，发射脉冲波的前沿上升时间要求小于 2ms，电流纹波应小于发射波幅度的 5%。同时，应调节发射波形、发射频率等参数，检查仪器是否能正常工作，并且稳定可靠。

3 数据采集开工前检查飞行器动力电缆、电池电量、数传天线连接稳定情况、脚架关节健康情况，试飞前进行磁罗盘及遥控器校准，然后进行空载试飞。飞行器起飞时当地风力最大宜不超过 3 级，卫星数量不低于 7 颗星。试飞一条直线航线，其飞行性能应满足设计要求。

5.4 资料采集

5.4.1 地空电磁发射装置正常发射后方可开展资料采集。

5.4.2 接收装置测量飞行应符合下列规定：

1 采用软吊装方式将接收机、接收传感器连接到无人机机体重心上，无人机与接收传感器间垂直距离由无人机噪声和飞行安全应决定。悬吊距离应保证无人机噪声低于检测信号，通常不宜小于 10 米。

2 起飞前应对仪器系统及配套设备进行检查与调节。

3 无人机起飞后，测量仪器操作员要做野外观测现场工作记录：线号、飞行方向，飞行测线各个状态的时刻 (精确到秒)、以及飞行测线观附近影响观测结果的地质现象、地形地貌、可能引起噪声的干扰源等。

4 无人机返航后，仪器操作员应及时检查并记录仪器工作状态和数据记录情况，即时回放记录数据，初步评价接收的记录质量，发现问题及时查找原因并重新采集，并应符合附录 C 规定：

5 同一测线宜多次飞行时，应至少有 50-100m 重复测量，两次重复测量曲线形态应基本重合。当曲线形态、数值差别较大时要检查仪器状态，重新观测。

5.4.3 地空电磁重复线测量飞行数据采集应符合下列规定：

1 现场认为某测线的测量质量较差或对收录的数据有怀疑时以及对数据进行检查时，可安排对这些测线或线段进行重复测量。

2 重复线飞行时，应力求与测线首次飞行时的航向、航迹、离地飞行高度相同。

5.4.4 开展地空电磁法资料采集时，应开展必要的安全措施保障发射和接收端安全。

5.4.5 地空电磁野外数据处理与编录应符合下列规定：

1 每天野外工作结束后，完善数据记录，并保存接收和发射所有数据，并对数据进行说明，形成数据说明电子文档。

2 按照测线对数据进行分类保存，按照测线整理测线相关的数据，编写数据说明。数据说明应包含测量数据列号、测量时间、发射电流频点和幅值等信息。

3 对飞行航迹进行回放，形成野外实际飞行测量航迹图和飞行高度图，并对飞行质量进行评价。

5.4.6 地空频率域电磁法数据采集质量应满符合下列规定：

1 采集到的数据 60%以上频点的磁场数据信噪比至少大于 1.5；

2 采集到的数据中，除少数频点外曲线总体平滑；

5.4.7 地空时间域电磁法数据采集质量应满足下列要求：

1 早期道数据信噪比至少大于 3，晚期道数据信噪比至少大于 1.5；

2 采集到的数据中，除少数频点外曲线总体平滑；

5.4.8 地空电磁法野外资料验收应符合下列要求：

1 原始资料应包括：

- 1) 原始数据；
- 2) 仪器测试记录；
- 3) 接收布极班报、接收操作员记录表、发射操作员记录表。

2 现场处理资料应包括：

- 1) 施工测线图；
- 2) 飞行航迹图；
- 3) 飞行高度图；
- 4) 测线接收数据质量评定表。

3 野外生产工作总结报告应包括：

- 1) 任务来源、地质任务、工区位置、工作量；
- 2) 任务完成情况；
- 3) 仪器测试、使用情况；
- 4) 方法技术及质量情况；
- 5) 质量保证措施；
- 6) 其他。

5.5 数据处理与成果解译

5.5.1 地空时间域电磁法资料处理和解释应符合下列规定：

1 资料预处理应包括：

- 1) 时间域电磁数据的截取、评价和叠加;
- 2) 时间域电磁数据的噪声处理及基线校正;
- 3) 时间域电磁数据的抽道。

2 根据求取的综合叠加信号,转换成随时间变化的视电阻率曲线,求取综合地电参数。

3 电阻率-深度成像处理应包括:

- 1) 对视电阻率曲线进行滤波、压制干扰等处理,得到视电阻率断面;
- 2) 根据已知的测井、地震等资料,分析测区电性相对变化规律,初步了解剖面地质结构;
- 3) 计算得到电阻率-深度断面图、切片图。

4 地质解释应包括:

- 1) 首先对深度-电阻率断面进行标定,可以用于标定的资料有电阻率测井曲线、其他物探信息、岩石物性信息等;
- 2) 根据标定结果对深度-电阻率断面进行地质层位划分;
- 3) 结合先验资料,通过对异常值的追踪与对比,对电阻率-深度断面进行综合地质解释。

5 地空时间域电磁法提交的图件应包括:

- 1) 电阻率-深度断面图;
- 2) 地质、地球物理综合解释剖面图。

5.5.2 地空频率域电磁法资料处理和解释应符合下列要求:

1 数据处理应包括:

- 1) 对曲线进行去噪、叠加;
- 2) 利用发射电流资料对接收数据进行归一化处理;
- 3) 处理离散畸变点, 计算振幅和相位。
- 4) 根据归一化数据求解视电阻率断面图, 绘制测线视电阻率断面图, 多条测线时绘制测区目标层平面图。

2 地质解释应包括:

- 1) 根据初步建立的地质-地球物理模型和标志, 对视电阻率和阻抗相位异常的性质、规模及起因进行分析判定;

- 2) 根据本测区或其他地区在已知各类地质目标体上建立的地质-地球物理概念模型显示的标志 (异常强度、形态、走向、规模、展布特点等) 进行类比来判断异常的性质、规模和起因;

- 3) 与收集到的地质及地球物理等相关资料和测区异常成果资料进行综合研究与对比分析, 判断异常的性质、规模和起因, 预测目标体分布范围;

- 4) 依照目标任务要求, 根据各种地质体的地质-地球物理模型特征, 结合测区的地质情况全面深入地分析解释, 运用地质学的基本原理将地球物理定性和定量解释成果客观合理地转变成推断的地质体或现象, 最终确定地质体或现象的性质、深度、规模、形态、产状及其相互关系;

- 5) 编绘地质地球物理综合解释成果图。与此同时要对资料解释成果的可靠性进行评估, 说明可能存在的问题与不足。

3 频率域提交的图件应包括:

- 1) 视电阻率断面图;

- 2) 电阻率-深度断面图;
- 3) 地质、地球物理综合解释剖面图。

6 航空磁测

6.1 一般规定

6.1.1 大高差艰险山区地面磁测实施困难时可采用航空磁测。

6.1.2 铁路工程航空磁测主要用于地质构造等推断解译, 辅助开展水文地质评价、工程选址稳定性评价、环境地质评价。

6.1.3 航空磁测可分为地球磁场绝对测量、地球磁场相对测量和地球磁场梯度测量, 目前铁路工程航空磁测工作主要采用地球磁场相对测量。

6.2 观测设计

6.2.1 测区范围圈定应符合下列规定:

1 原则上按航空磁测任务和飞行条件、工作地区自然条件、工作量等来确定测区的角点坐标;

2 确定区域性和综合性航空磁测范围时, 应注意构造单元和异常的完整性, 测区范围应囊括要解决的地质任务所涉及的地区范围;

3 确定测区范围, 应与相邻高精度或同精度测量的测区重复 2~3 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重复 3 km~5 km。

6.2.2 测网密度与测量比例尺确定应符合下列规定:

1 测量比例尺一般根据工作任务、探测对象大小、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;

2 在测区内,可根据具体条件,分区布设不同间距的测线。无特殊情况,一个测区不多于两种测线间距,即两种测量比例尺;

3 对有特殊要求的航空磁测,应综合考虑测区自然地理、地质、地球物理、飞机、测量仪器和测量方法等因素,以突出测量效果为主,选择合理的测量比例。

6.3 仪器设备

6.3.1 航空磁测应使用灵敏度优于 $\pm 0.01\text{ nT}$ 的航空磁力仪,配备磁补偿器、数字收录、GPS或其他满足精度要求的导航定位系统,以获取高质量的航磁测量数据。

6.3.2 机载航磁测系统应符合下列规定:

1 系统组成应包括:

- 1) 航空磁力仪;
- 2) 航磁补偿仪;
- 3) 配备高度测度设备;
- 4) 导航定位设备;
- 5) 数据收录设备,记录设备;
- 6) 辅助设备。

2 航空磁力仪系统安装与检验

航空磁力仪系统在飞机上安装之前,应按仪器设备技术说明书或技术指标进行检查验收,达不到要求时不应进行安装。

3 航空磁力仪系统探头安装方式,可采用固定或软吊方式。

4 航空磁力测地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 5 h 的地面稳定性试验。

5 数据收录系统选用多参数自动收录设备和数据收录设备，收录系统主要检验内容有：数字收录格式、错漏码率、时间准确性、各道收录同步程度、记录参数、满偏等。

6.3.3 地面基站仪器设备应符合下列规定：

1 仪器设备组成应包括：

- 1) 磁力仪；
- 2) 数据收录设备、记录设备；
- 3) GPS 接收机；

2 应对磁日变测量系统进行检查验收。

6.3.4 野外基地数据预处理系统应符合下列规定：

1 系统组成应包括：

- 1) 数据预处理微机；
- 2) 数据预处理微机软件；
- 3) 打印与绘图设备；

2 应调节好野外基地数据预处理或质量检验系统，检验硬件工作状态和软件功能技术性指标，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。

6.4 资料采集

6.4.2 在航空磁测空白区首次进行测量时，区域性航空磁测的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，大比例尺航空磁测的主测线方向应垂直于或基本垂直于探测目标物的走向。

6.4.3 航空磁测飞行高度确定应符合下列规定：

1 航空磁测应在保证安全的条件下，采取措施尽量降低飞行高度，以提高磁异常信息的强度，同时要避免相邻架次或测线的飞行高度差别过大。

2 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。

3 测量离地飞行高度的测量误差应小于实际离地高度的 10%。

6.4.4 航空磁测飞行速度与采样率确定应符合下列规定：

1 航空磁测应尽量选择低空性能好的飞机。当测量系统的数据采样率不高时，应尽量采用低速飞行。

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 6.4.4-1 计算最低采样率。

$$n = \frac{v \cdot P}{S} \quad (6.4.4-1)$$

式中：

v —作业飞机的最大速度（m/s），

S ——探测对象的最窄异常宽度（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。

3 航空磁测选用 10 次/s 的采样率较合适。采样间距应小于或等于按测量比例尺制图时图上 1 mm 代表的距离数，但最低采样率不应小于 2 次/s。

6.4.5 导航定位及精度应符合下列要求：

1 导航定位方法选择要满足航空磁测对导航定位精度的要求,并考虑测区地理条件和经济合理性。

2 航空磁测使用全球卫星导航定位系统实现导航定位。当使用某一导航定位系统不能满足航空磁测需要的导航定位精度时,应使用更高精度的或组合导航定位系统以满足导航定位要求。

表 6.4.5-1 不同测量比例尺的定位精度

测量比例尺	定位精度/m (均方差)
<1: 250 000	±30
1: 200 000 或 1:250 000	±20
1: 100 000	±15
1: 50 000	±10
1: 25 000	±5
≥1: 10000	±2

3 导航精度要求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。对连续偏航大于表 6.4.5-2 中偏航距要求的,按测量比例尺成图长度大于 10 cm 时,应进行补测补测线段两端与合格测线重复长度不得少于 2km, 并且两端都要与控制线相交。

表 6.4.5-2 不同比例尺测量的偏航距

测量比例尺	偏航距
<1: 200 000	≤250 m
1: 100 000	≤200 m
1: 50 000	≤150 m
1: 25 000	≤80 m
>1: 10 000	≤1/3 主测线距

6.5 数据处理与成果解译

6.5.1 航空磁测数据处理应符合下列要求:

1 航磁数据处理应包含原始数据野外现场预处理、原始数据处理和数据转换处理三项工作。

2 数据预处理应在野外作业现场分架次实时完成,利用各类检查、

统计等手段了解数据质量、指导飞行。

3 数据处理应在野外预处理基础上完成测量数据的合并、校正、调平等工作，完成各种基础图件的编制。

4 数据转换处理应利用数据处理后的测量数据，根据地质解释需要，选择不同的位场转换方法进行处理。

5 数据处理过程应包含质量控制措施。

6.5.2 航空磁测成果解译应符合下列要求：

1 铁路工程航空磁测资料在地质构造和隐伏岩体等推断解释的基础上，开展水文地质评价、工程选址稳定性评价、环境地质评价。

2 航磁资料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。航磁资料推断解释包括对区域磁场和局部异常的解释两部分。

3 区域磁场解释应对磁场进行分区，并研究所反映的区域地质构造特征。

4 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、成因及意义，对每个航磁局部异常进行推断解释。

5 航磁异常定量和半定量解释应大致估计磁性地质体形态、产状、空间位置和物性参数。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；对航磁局部异常进行磁性体顶面埋

藏深度计算。

7 航空放射性测量

7.1 一般规定

7.1.1 大高差艰险山区地面放射性测量实施困难时可采用航空放射性测量。

7.1.2 铁路工程航空放射性测量主要可用于区域地质、水文地质、工程地质、环境地质调查，辐射环境监测及核事故灾害评价等。

7.2 观测设计

7.2.1 测区选择应遵循以下原则：

1 区域地质调查任务的测区，应注意地层或岩性的差别、构造单元的完整性、地质体的规模等因素。

2 水文地质、工程地质、环境地质调查和辐射环境监测及核事故灾害评价等测区，应根据具体任务、工作性质和探测对象等具体情况选择。

7.2.2 测区布置应遵循以下原则：

1 测区范围应大于地质任务所涉及的范围。

2 测区形状应尽量规则。在与相邻测区衔接时，应重复 2~3 条测线的宽度。测区范围较大时，也可考虑分年度安排测区。

7.2.3 测网选择应根据测量目的任务、探测对象大小及特征、飞行高度和技术装备等具体情况确定测网，并考虑其合理性及其经济效益。

7.2.4 测量比例尺选择应根据具体任务要求和地形、地质条件，在测区内可分区布设不同间距的测线。

7.2.5 编写技术设计前，应收集下列与工作任务有关的资料：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/286040243240010101>