

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 35105—2017

水电工程电磁法勘探技术规程

Technical Specification for Electromagnetic
Exploration of Hydropower Projects

2017 – 11 – 15 发布

2018 – 03 – 01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水电工程电磁法勘探技术规程

Technical Specification for Electromagnetic Exploration of
Hydropower Projects

NB/T 35105—2017

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2 0 1 8 年 3 月 1 日

2018 北 京

国家能源局
公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等204项行业标准，其中能源标准（NB）62项、电力标准（DL）86项、石油标准（SY）56项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局
2017 年 11 月 15 日

NB/T 35105—2017

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
39	NB/T 35105—2017	水电工程电 磁法勘探技 术规程			2017 - 11 - 15	2018 - 03 - 01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2015〕12 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要技术内容是：仪器设备、现场工作、数据处理和资料解释、成果报告编写。

本规程由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规程主编单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

本规程参编单位：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

中国地质大学（武汉）

长江勘测规划设计研究有限责任公司

黄河勘测规划设计有限公司

水利部长江勘测技术研究所

四川中水成勘院工程勘察有限责任公司

本规程主要起草人员：王 波 谭天元 韩道林 胡润楚

赵党军 胡清龙 许海燕 李江林

NB/T 35105—2017

	余灿林	祁增云	孙永清	徐义贤
	余才盛	张 毅	刘海涛	黄 易
	皮开荣	杨正刚	杜兴忠	周 剑
	黄小军			
本规程主要审查人员：	彭土标	杨 建	李文纲	卢小林
	汤井田	常 伟	张建清	黄世强
	赵安宁	邓希贵	王世学	谢向文
	刘康和	魏岩峻	张东升	李开德
	胡积松	贾煜星	李仕胜	

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	6
3.1	应用范围及适用条件	6
3.2	电磁法勘探工作流程	7
3.3	成果校审与资料归档	8
4	仪器设备	11
4.1	仪器设备技术要求	11
4.2	仪器使用与保养	13
4.3	仪器检查	14
5	现场工作	15
5.1	试验工作	15
5.2	可控源音频大地电磁测深法	16
5.3	音频大地电磁测深法	20
5.4	瞬变电磁法	23
5.5	感应电磁法	25
6	数据处理和资料解释	27
6.1	一般规定	27
6.2	可控源音频和音频大地电磁测深法	28
6.3	瞬变电磁法	30
6.4	感应电磁法	31
7	成果报告编写	32
附录 A	电磁法勘探应用一览表	33

NB/ T 35105—2017

附录 B 电磁法仪器检查规定 34

附录 C 基本公式 36

本规程用词说明 39

引用标准名录 40

附：条文说明 41

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirement	6
3.1	Applications Scope and Condition	6
3.2	The Workflow of Electromagnetic Exploration	7
3.3	Check and File of Data and Reports	8
4	Instrument and Equipment	11
4.1	Requirements of Instrument and Equipment	11
4.2	The Use and Maintenance of Instrument	13
4.3	Check Instrument	14
5	Field Work	15
5.1	Test Work	15
5.2	Controlled Source Audio – frequency Magnetotellurics	16
5.3	Audio – frequency Magnetotellurics	20
5.4	Transient Electromagnetic Method	23
5.5	Induction Electromagnetic Method	25
6	Data Processing and Interpretation	27
6.1	General Requirement	27
6.2	Controlled Source Audio – frequency Magnetotellurics and Audio – frequency Magnetotellurics	28
6.3	Transient Electromagnetic Method	30
6.4	Induction Electromagnetic Method	31
7	Compilation of Results and Reports	32

NB/T 35105—2017

Appendix A	Electromagnetic Exploration Applications List	
	33
Appendix B	Inspection of Electromagnetic Exploration	
	Instrument	34
Appendix C	Basic Formula	36
	Explanation of Wording in This Specification	39
	List of Quoted Standards	40
	Addition: Explanation of Provisions	41

1 总 则

1.0.1 为规范水电工程电磁法勘探工作，做到技术先进、方法可靠、数据准确、分析解译合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水电工程电磁法勘探工作。

1.0.3 水电工程电磁法勘探工作，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 可控源音频大地电磁测深法 (CSAMT) controlled source audio - frequency magnetotellurics

利用人工场源发射不同频率的电磁波，同时在远区测试不同发射频率下的电磁场分布信息，根据电磁波的趋肤效应原理，反演地下电性分布情况的一种电磁勘探方法。

2.1.2 音频大地电磁测深法 (AMT) audio - frequency magnetotellurics

利用天然或人类生产活动产生的电磁波，在地面测试不同频率电磁场的分布信息，根据电磁波的趋肤效应原理，反演地下电性分布情况的一种电磁勘探方法。

2.1.3 瞬变电磁法 (TEM) transient electromagnetic method

采用不接地回线向地下发送脉冲电磁波，接收地下介质产生的二次场，反演地下电性分布情况的一种电磁勘探方法。

2.1.4 感应电磁法 (IEM) induction electromagnetic method

将发射和接收线圈以一定方式组成测试装置，发射一定频率的电磁波，接收地下介质感应产生的电磁场，探测地下电性分布情况的一种电磁勘探方法。

2.1.5 天然场源 natural source

天然产生或由人类生产及生活过程中产生的、可用于电磁勘探的电磁场。

2.1.6 可控源 controlled source

由人工制造的专用电磁发射设备，按预定方式向地下或空中发射电磁波，产生可用于电磁勘探的电磁场。

2.1.7 趋肤深度 skin depth

当平面电磁波垂直向地面入射时，电磁场幅度衰减到地表的 $1/e$ 时的深度。

2.1.8 近区 near area

在可控源音频大地电磁测深法的接收区域内，收发距小于最大探测深度1倍的区域。

2.1.9 远区 far area

在可控源音频大地电磁测深法的接收区域内，收发距大于最大探测深度3倍的区域。

2.1.10 过渡区 transition area

介于近区与远区之间的测量区域。

2.1.11 电磁场标量测量 scalar observation of electromagnetic field

在可控源音频或音频大地电磁测深法中，一个测点上只测试沿测线方向的水平电分量和垂直于测线方向的水平磁分量，获得单方向电阻率和阻抗相位的一种电磁测试方法。

2.1.12 电磁场张量测量 tensor observation of electromagnetic field

在可控源音频或音频大地电磁测深法中，一个测点上同时测试沿测线方向和垂直测线方向的两组水平电分量和两组水平磁分量，获得两组相互垂直的电阻率和阻抗相位的一种电磁测试方法。

2.1.13 三维面元观测 three dimensional bins acquisition

音频大地电磁法的一种三维数据采集方式，采用相互联系的多个采集站以相同的采集参数同时在单个或相邻多个测点上进行采集，每个采集站控制的区域称为一个面元。

2.1.14 重叠回线装置 coincident loop device

将发送回线框和接收回线框完全重合在一起的一种瞬变电磁测试装置。

2.1.15 中心回线装置 central loop device

发送回线框和接收回线框为一大和一小两个线框，接收回线

框位于发送回线框中央的一种瞬变电磁测试装置。

2.1.16 偶极装置 dipole device

发送回线框和接收回线框为一大和一小两个分离的线框，接收回线框和发送回线框保持固定距离和位置的一种瞬变电磁测试装置。

2.1.17 大定源回线装置 large - fixed loop device

发送回线框为一相对固定的大型矩形线框，接收回线框可在发射矩形框内外沿测线进行测试的一种瞬变电磁测试装置。

2.2 符 号

2.2.1 一般符号

Δ ——绝对误差；

$\overline{\Delta}$ ——平均绝对误差；

δ ——相对误差；

$\overline{\delta}$ ——平均相对误差；

m ——均方相对误差。

2.2.2 可控源音频及音频大地电磁测深法符号

AB——供电电极；

MN——测量电极；

\overline{AB} ——供电电极距；

\overline{MN} ——测量电极距；

f ——电磁波频率；

h_{δ} ——趋肤深度；

E_x ——横向电场分量；

E_y ——纵向电场分量；

H_x ——横向磁场分量；

H_y ——纵向磁场分量；

H_z ——垂向磁场分量；

ρ_c ——卡尼亚电阻率。

2.2.3 瞬变电磁法符号

L ——发送回线边长；

I ——发送电流强度；

V_q ——接收线圈的感应电压；

B_x ——沿测线方向的水平磁感应强度；

B_y ——垂直测线方向的水平磁感应强度；

B_z ——铅直方向的磁感应强度；

S_τ ——视纵向电导；

ρ_τ ——晚期场视电阻率；

τ_τ ——视时间常数。

2.2.4 感应电磁法符号

Q ——接收线圈中发射场与感应场比值；

σ_s ——视电导率；

ξ_s ——视磁化率。

3 基本规定

3.1 应用范围及适用条件

3.1.1 电磁法勘探宜按国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287、《水电水利工程物探规程》DL/T 5010 和本规程附录 A 规定的应用范围及适用条件选择电磁法勘探方法。

3.1.2 可控源音频大地电磁测深法和音频大地电磁测深法宜适用于下列范围：

1 覆盖层、滑坡体及其下伏基岩顶界面、断层破碎带、具有明显电性差异的地层、大型溶洞、地下水和采空区探测。

2 隧洞选线地质条件、防渗帷幕、堤防隐患和防渗墙质量缺陷探测。

3.1.3 可控源音频大地电磁测深法适用条件应满足下列要求：

1 上覆低阻、下伏相对高阻的地层地质条件。

2 目标体呈层状分布，相对埋藏深度具有一定规模，并具有明显电性差异。

3 测区内及邻近不宜有电网、电磁发射站、变电站、发电站等强电磁干扰。

3.1.4 音频大地电磁测深法适用条件应满足下列要求：

1 目标体呈层状分布，相对埋藏深度具有一定规模，并具有明显电性差异。

2 测区内及邻近不宜有电网、电磁发射站、变电站、发电站等强电磁干扰。

3.1.5 瞬变电磁法宜适用于下列范围：

1 覆盖层、滑坡体、溶洞、地下水、采空区和地下构筑物探测。

2 防渗帷幕及堤防隐患、隧洞选线地质条件、地下环境污染区和防渗墙质量缺陷探测。

3 隧洞施工超前地质预报。

3.1.6 瞬变电磁法适用条件应满足下列要求：

1 隐伏地质体宜为上覆高阻、下伏低阻的地层地质条件。

2 目标体埋藏中等深度，相对于埋藏深度具有一定规模。

3 测区内起伏相对平缓，邻近不宜有电网、电磁发射站、变电站、发电站等强电磁干扰。

3.1.7 感应电磁法宜适用于下列范围：

1 溶洞、地下构筑物、地下管线及金属埋藏物探测。

2 地下环境污染区探测。

3.1.8 感应电磁法适用条件应满足下列要求：

1 目标体埋藏浅，电阻率或磁导率与围岩土应具有明显差异。

2 目标体相对于埋藏深度具有一定规模。

3 测点及邻近不宜有强电流或强电磁干扰。

3.2 电磁法勘探工作流程

3.2.1 电磁法勘探工作流程宜按图 3.2.1 进行。

3.2.2 资料收集应主要包括与工程项目相关的测绘、勘探、地质、物探、试验及设计资料。

3.2.3 现场踏勘应了解和实地考察测区地形、地貌、地质、电磁干扰源、交通及工作条件。

3.2.4 电磁法勘探方案编制宜包括下列内容：

1 项目情况、地质及地球物理条件，可能存在的干扰源分布情况，以往工作程度和可能存在的问题。

2 任务来源、工程量、质量技术要求。

3 试验工作、测线布置、工作方法与技术、测试工作。

4 质量指标及控制措施。

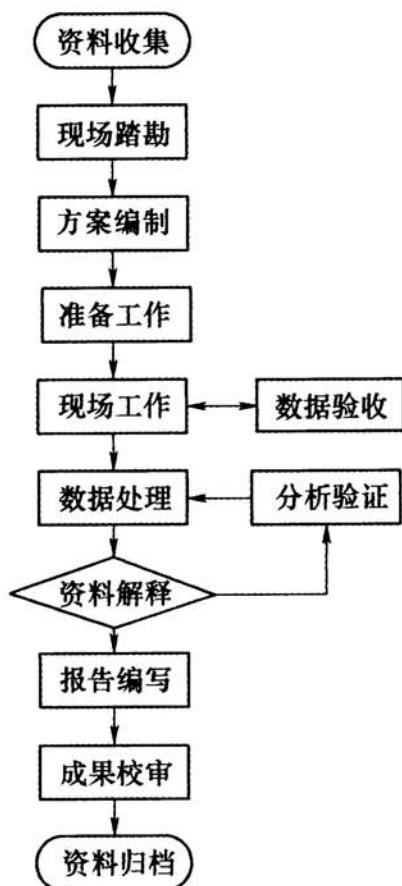


图 3.2.1 电磁法勘探工作流程图

5 资料处理与解释的方法与技术、主要成果图件、成果报告。

6 项目组织机构和设备。

7 工作进度与工期安排。

8 现场安全、职业健康和环境保护措施。

9 现场配合、协调工作。

3.3 成果校审与资料归档

3.3.1 电磁法勘探记录应包括仪器检查记录、原始采集数据、仪器操作记录、工作班报、测线网测量记录、质量评价记录。

3.3.2 仪器检查记录应包括开工前和收工后的仪器检查记录。

3.3.3 原始采集记录应与仪器操作记录对应，数据应备份到可移动存储设备上，仪器操作记录应填写单位、日期、工程名称、测线点编号、仪器名称和型号、仪器工作参数、操作人员、观测系统主要参数等。

3.3.4 工作班报应记录测线沿线、布极点及测试中心点的地形地质及干扰源分布情况。

3.3.5 现场测试工作完成后，项目人员应对全部原始记录进行自检，专业技术负责人应组织人员对原始记录进行检查和评价，抽查率不应低于 30%。

3.3.6 成果报告校审前应检查相应的原始记录，记录不合格不应进入校审流程。

3.3.7 电磁法勘探记录分为合格和不合格，存在下列情况之一者应评定为不合格：

1 记录不全。

2 原始记录有涂改、擦去、撕页现象，或计算机数据采集文件名错误，文件内容不符或不全。

3 测试仪器设备不符合本规程要求。

4 测试仪器无检查记录或检查不合格。

3.3.8 提交的成果报告应经校核和审查。中间成果校核合格后可提交使用。提交审查的成果报告，应内容完整、图表齐全、内容的形式符合本规程的相应规定。

3.3.9 呈送校核和审查的报告应包括下列资料：

1 报告、附图、附表。

2 中间成果资料，包括视电阻率和相位曲线、各种校正资料及解释资料等。

3 任务书、勘探方案、经检查评价合格的各种记录等。

4 有关地质、设计资料。

3.3.10 报告校核应包括以下内容：

1 测试记录和质量记录。

2 现场工作方法选择、工作布置、工作量、技术运用的合理性。

3 计算公式及图表。

4 成果数据的计算过程。

5 解释方法及技术。

6 报告内容及图表。

3.3.11 报告审查应包括以下内容：

1 工作流程合规性。

2 原始记录是否合格、齐全。

3 工程概况和地质地球物理条件等是否正确、全面。

4 任务目的与工作量完成情况。

5 现场工作方法选择、工作布置、技术运用的合理性。

6 数据处理及解释方法的正确性，成果图表的规范和完整性。

7 成果结论的正确性和建议的合理性。

3.3.12 成果报告完成印刷和提交后应进行归档，归档资料宜包括以下内容：

1 任务书、勘探方案、收集的有关地质和设计及其他相关资料。

2 电磁法勘探及质量记录。

3 成果报告、报告校审记录。

4 仪 器 设 备

4.1 仪器设备技术要求

4.1.1 可控源音频大地电磁测深应使用具有大功率发射控制和高精度电磁接收功能的专用仪器，仪器主要技术指标应满足下列规定：

1 电偶极子发射机应具有供电和发射控制的成套专用设备，并应符合下列规定：

- 1) 供电发电机应与控制器相匹配。
- 2) 供电电流应在 $0.5\text{A}\sim 40.0\text{A}$ 之间设定。
- 3) 供电电压应在 $25\text{V}\sim 1000\text{V}$ 之间工作。
- 4) 频率范围不应窄于 $0.1\text{Hz}\sim 10.0\text{kHz}$ 。
- 5) 同步时间允许偏差应为 $\pm 0.5\mu\text{s}$ 。
- 6) 应有异常保护和超电压、超电流、超高温保护。
- 7) 高压保护应标志明显。

2 磁偶极子发射机应具有磁激励和发射控制的成套专用设备，并应符合下列规定：

- 1) 电瓶或发电机应与控制器相匹配。
- 2) 发射磁矩不应小于 400Am^2 。
- 3) 频率范围不应窄于 $0.1\text{Hz}\sim 10.0\text{kHz}$ 。
- 4) 应有异常保护和超电压、超电流、超高温保护。
- 5) 高压保护应标志明显。

3 接收机应具有数字采集、多次叠加、自动增益、陷波功能，能显示分析视电阻率测深、相位等曲线，主要技术指标应满足下列规定：

- 1) 电通道数和磁通道数均不应少于 2 个。

- 2) 频率范围不应窄于 10Hz~10kHz。
- 3) A/D 转换应每通道一个, 且不应低于 16bit。
- 4) 测试频点不应少于 30 个。
- 5) 最小采样长度应大于 1s。

4.1.2 音频大地电磁测深应使用具有电通道和磁通道测试功能的专用仪器, 主要技术指标应满足下列规定:

- 1 电通道和磁通道数均不应少于 2 个。
- 2 频率范围不应窄于 10Hz~10kHz。
- 3 A/D 转换应每通道一个, 且不应低于 16bit。
- 4 测试频点不应少于 30 个。
- 5 最小采样时间应大于 1s。
- 6 叠加次数可调。

4.1.3 瞬变电磁法应使用具有大电流发射和高精度电流采样功能的成套瞬变电磁仪, 接收机应具有频谱分析、多测道测试参数和曲线显示等功能。仪器主要技术指标应满足下列规定:

1 发射机可选择发电机或电瓶供电, 应具有短路、过压和过流保护功能, 主要技术参数应符合下列规定:

- 1) 发射电流波形宜为双极性梯形波, 占空比宜为 1 或连续方波。
- 2) 最大发射电流应大于 20A。
- 3) 发射基频不宜窄于 2.5Hz~32.0kHz。
- 4) 发射关断时间不应大于 100 μ s。

2 接收机主要技术参数应符合下列规定:

- 1) 接收机 A/D 转换不应低于 16bit。
- 2) 接收机增益动态范围不应小于 120dB。
- 3) 采样道数不应少于 12 道。
- 4) 最小采样间隔不应大于 5 μ s。
- 5) 同步宜采用石英钟同步或电缆同步。

6) 本底噪声不应大于 $1\mu\text{V}$ 。

4.1.4 感应电磁法仪器主要技术指标应满足下列规定：

- 1 频率范围不应窄于 $90\text{Hz}\sim 96\text{kHz}$ 。
- 2 发射方式可选择单频、多频、混频方式。
- 3 发射磁矩不应小于 200Am^2 。
- 4 A/D 转换不应低于 16bit。
- 5 共面接收线圈不应少于 2 个。
- 6 最低采样频率不应低于 25Hz 。

7 输出参数应包括同相和正交分量场强、视电导率、视磁化率等参数。

4.2 仪器使用与保养

4.2.1 仪器使用应严格遵守仪器说明书的有关规定，由专人负责管理，并填写仪器使用记录。

4.2.2 可控源和天然源大地电磁测深仪器使用与保养宜按现行行业标准《大地电磁测深仪使用与维护》SY/T 5930 的有关规定执行，瞬变电磁法的仪器使用与保养宜按现行行业标准《电法勘探瞬变电磁仪》SY/T 6841 的有关规定执行。

4.2.3 仪器应储存在清洁、干燥、防尘、通风的库房内，长期不使用的仪器通电前应进行必要的干燥处理。潮湿地区开展工作应做好防潮处理。

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

4.2.5 运输仪器过程中应做好防振措施，到达工地后应检查仪器。

4.2.6 仪器在野外工作时应配有专职操作员，野外工作期间应严格按仪器使用说明书和操作规程进行使用与维护。

4.2.7 仪器出现故障，修复后应进行检验，并记录处理过程。

4.2.8 供电线缆和接收线缆应区别标识。

4.3 仪 器 检 查

4.3.1 电磁法仪器应进行定期检查，检查内容应包括接收机和发射机的主要功能、技术指标和系统间的配合参数是否符合要求，检查周期不宜超过一年。

4.3.2 一个工区开展工作前和结束后应进行现场检查，电磁法仪器检查应符合本规程附录 B 的相关规定。

5 现场工作

5.1 试验工作

5.1.1 测试前应开展试验工作，对测区各介质的电性参数进行测试或验证，确定系统观测方式、选择工作参数。

5.1.2 试验前应根据电磁勘探任务和方案，结合测区地形、地质及地球物理条件和周边干扰源分布，确定试验方案。

5.1.3 试验工作应选在测区中具有代表性的部位，并遵循由已知到未知，由简单到复杂的原则，试验点宜选择在生产测线上或通过已有勘探点。

5.1.4 应测量工作区范围内背景信号的分布情况及强度。

5.1.5 试验结束后应及时进行资料处理和分析，给出所试验方法适用性的明确结论。试验成果可作为生产成果的一部分。

5.1.6 生产中遇到局部地段记录质量明显下降时，应查明原因，必要时开展补充试验，调整工作方法和技术参数。

5.1.7 可控源音频大地电磁测深法和音频大地电磁测深法现场试验应符合下列要求：

1 可控源音频大地电磁测深法应进行不同供电极距 \overline{AB} 或不同磁矩的发射试验。

2 音频大地电磁测深法应进行天然电磁场品质试验，调查工作区天然电磁场情况。

3 接收仪器应进行频率响应、采样率、采样长度、叠加次数、增益、前放滤波等参数选择试验。

4 多台接收仪器同时工作时应进行一致性检查。

5 应进行观测方式及测量极距试验。

5.1.8 瞬变电磁法现场试验工作应符合下列要求：

1 应进行工作装置、发射线圈边长、发射电流强度和线圈匝数的试验。

2 可进行线圈和磁探头接收比较试验。

3 应通过试验确定仪器工作参数。

4 应进行不同测点距的试验。

5.1.9 感应电磁法现场试验工作应符合以下要求：

1 应选择单频、多频、混频工作方式及多个线圈距进行试验，确定合适的工作频率和线圈距。

2 应进行连续测试和点测试对比试验，并确定测试方式和点距。

3 应进行传感器移动、近场及远源噪声抑制试验，并确定合适的工作参数。

5.2 可控源音频大地电磁测深法

5.2.1 测线网布置应符合下列要求：

1 应根据工作任务、现场条件和试验资料事先在布置图上按一定比例布置测线和测点，测线应外延地质任务要求区域边界外不少于 3 个测点。

2 测线、发射接地点或发射站点应避开强干扰源一定距离，并符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 测点与干扰源的距离要求

序号	干扰源类型	测点避开距离 (m)
1	大型变电站、雷达站	≥ 2000
2	广播发射站、通信基站	≥ 1000
3	高压电力线	≥ 500
4	电气铁路	≥ 200

3 测线宜垂直待查地质体走向布置，宜通过或靠近勘探点。

4 应根据勘探精度合理布置点距和线距，点距宜为 5m~

50m，线距宜为 10m~100m。

5 测点、供电电极点及发射站点测量放点时，宜沿测线清除一些有影响的茂密植物。

6 测点、供电电极点及发射站点应测量放点并标识。测量电极位置允许偏差为测量电极距的 $\pm 1\%$ 。

7 当测量放点与原计划测网布置不一致时，应重新绘制测点布置图或补充放点说明。

5.2.2 电偶极子发射场源布置应符合下列要求：

1 简单地质条件下宜布置单一场源，复杂地质条件下可布置分离或重叠的双场源。

2 应根据测线网、干扰源分布和实际地形，布置供电电极 AB 位置和发射控制站位置。

3 测线宜位于供电电极 AB 的赤道位置，最小收发距不应小于最大探测深度的 3 倍。

4 应根据最大探测深度确定供电电极距 \overline{AB} ，宜为 800m~3000m；当分段布置供电电极距 \overline{AB} 时，相邻重合段不应少于 3 个测量点。

5 供电电极 AB 极相对高差与供电电极距 \overline{AB} 之比不应大于 10%，供电电极连线方向与测线方向允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ 。

6 供电电极 AB 极布设宜避开高压输变电线、铁路、工业管道、水域、城镇、大型民居，不宜布在陡坎、山脊、谷底位置。

7 供电电极 AB 极应选在电阻率较低的地点，两埋设点接地条件相近。

8 供电电极 AB 极宜选用导电性良好的柱、板、网、箱状金属材料，采用挖坑埋设方式，供电电极 AB 极接地电阻不宜大于 20 Ω 。

9 发射工作站应选择在干燥位置，供电线宜选用内阻小于 5 Ω /km、绝缘电阻大于 2M Ω /km 的轻便、高强度铜芯导线。

10 发电机、发射机应接地，且与地面间应有绝缘垫。

5.2.3 磁偶极子发射场源布置应符合下列要求：

1 应根据测线、干扰源分布和实际地形布置磁偶极子发射位置。

2 测点宜位于磁偶极子的圆圈形辐射区域内，最小收发距不应小于最大探测深度的3倍。

3 磁偶极子发射点应选在地势平坦、相对干燥处，轴线方向应垂直于地面，倾斜允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ 。

4 当需要布置多个发射站点时，相邻重合段不宜少于3个测量点。

5 发射点与测点间应避开输变电、铁路、工业管道、水域、城镇、大型民居等干扰物，不宜布在陡坎、山脊、谷底位置。

6 发射控制机应接地，且发射机及发射天线应与地面绝缘。

5.2.4 测试方式选择和布极应符合下列要求：

1 地质条件简单时，宜选择电磁场标量测量方式。多测道排列时，每排列测试磁场 H_y 不应少于一个，且测试点宜位于排列中心。

2 地质条件复杂时，宜选择电磁场张量测量方式。可根据地形和布极条件选择“十”“T”或“L”形布极方式进行测试。

5.2.5 测量电极和磁探头布置应符合下列要求：

1 应按实际放点工作图布置测量电极和磁探头。

2 当 $\overline{MN}/2$ 与测点间距成整数倍时，测量电极MN应在测点桩号附近布极，当 $\overline{MN}/2$ 与测点间距不成整数倍时，布极宜使用非金属测绳。

3 测量电极MN位置的允许偏差为 $\overline{MN}/2$ 的 $\pm 2\%$ ，高程允许偏差为 \overline{MN} 的 $\pm 10\%$ ，且偏差方向相对于测线方向应保持一致。

4 测量电极MN应根据仪器类型选用不极化电极或特制钢电极，不极化电极的极差不应大于2mV，特制钢电极宜与相应

的附件相连接后再与前放部件相连接。

5 测试连接导线绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

6 电道宜采用多道排列观测方式，测量电极距宜为 $5\text{m}\sim 50\text{m}$ 。

7 测量电极 MN 和磁探头不应布置在陡坎边、深沟内，测量电极接地电阻不应大于 $2\text{k}\Omega$ 。

8 在沙漠、戈壁、高阻岩石露头区，测量电极 MN 可采用多电极并联、电极四周垫土、浇水等措施降低接地电阻。

9 水平磁棒应水平埋设土中，保持水平尺气泡居中，与测线平行或垂直的方位允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ ，距离采集主机距离应大于 10m 。

10 当采用电磁场张量测量方式时，磁棒应布置在不同象限内。

11 垂直磁棒应铅直入土棒长 $2/3$ 以上，垂直度允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ 。

12 连接电缆不应悬空、打圈，多余电缆应呈“S”形摆放，并压实。

5.2.6 数据采集工作应符合下列要求：

1 应按本规程附录 C 的有关规定计算探测深度下限所需要的频率。

2 每次工作前发射机应预热 $10\text{min}\sim 30\text{min}$ 。

3 不得在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。

4 接收机站和发射机站间通信应畅通。

5 发射电极、发射线圈及供电线路等重要位置应有专人查护。

6 发射和接收操作人员应记录相应的工作班报。

7 测试中，人员应离开磁探头 10m 以上，并不应使用通信工具。

8 测试宜从高频到低频，每测站完成测试后，应检查本测

站各测点的视电阻率、相位曲线形态和异常频点分布情况，视电阻率曲线和相位曲线上异常频点数均不应大于 10%。

9 每天收工后应备份接收和发射数据。

5.2.7 重复观测、检查观测和覆盖点应符合下列要求：

1 当一个测站或测点的曲线形态、幅值出现异常时，应进行重复观测。

2 当一个测站或测点的多次重复观测均不满足本规程第 5.2.6 条第 8 款时，应记录说明。

3 重复观测点的曲线形态应一致，重复观测的视电阻率和相位总均方相对误差 m 均不应大于 5%。

4 完成一个发射站内所有测试点的测试工作后，应进行不少于该发射站总测试点 5% 的检查观测，检查点宜均匀分布，异常部位应有检查点。

5 移动场源时，相邻重合段不应少于 3 个覆盖点，覆盖点的视电阻率和相位曲线形态应一致，相对均方误差 m 不宜大于 10%。

5.2.8 资料检查和评价应符合下列要求：

1 进行检查点误差计算时，可剔除检查曲线上的个别畸变频点后再进行误差计算。

2 应按本规程附录 C 的有关规定计算各个检查点曲线上各频点的视电阻率和相位的相对误差 δ 。

3 应按本规程附录 C 的有关规定计算各个检查点的视电阻率和相位的平均相对误差 $\bar{\delta}$ 。

4 应按本规程附录 C 的有关规定计算测线或测区检测观测的总均方相对误差 m 。

5 总均方相对误差 m 不应大于 10%。

5.3 音频大地电磁测深法

5.3.1 测线网布置应符合下列要求：

1 应根据工作任务、现场条件和试验资料事先在布置图上按一定比例布置测线和测点，测线应外延地质任务要求区域边界外不少于 3 个测点。

2 可根据地质条件和任务要求选择二维或三维勘探网。

3 应结合现场踏勘资料布置测线网，不宜在沟谷、山脊地段布置测线。

4 测线宜垂直待查地质体走向布置，且通过或靠近勘探点。

5 测线和测点应避开强干扰源一定距离，距离应符合本规程表 5.2.1 的相关规定。

6 应根据勘探精度确定测线网密度，测点距宜为 5m～50m，线距宜为 10m～100m。

7 测线和测点测量放点时，宜沿测线清除一些有影响的茂密植物。

8 测线和测点应测量放样并标识，测量电极位置允许偏差为测量电极距的 $\pm 1\%$ 。

9 当测量放点与原计划测网布置不一致时，应重新绘制测量布置图或补充放点说明。

5.3.2 测试方式选择和布极应符合下列要求：

1 应采用电磁场张量测量方式，根据地形和布极条件，可选择“十”“T”或“L”形布极方式。

2 现场地形及植被条件复杂时，测线可以折线或自由点布设向前延伸，但应保持各测试分量和方向的一致性。

3 进行三维测试时，当现场地形及植被条件复杂，可采用非规则三维张量观测装置，各观测点的对应分量应保持方向一致；采用三维面元观测时，每个面元不应少于一个磁分量。

5.3.3 测试布极应符合下列要求：

1 当 $\overline{MN}/2$ 与测点间距成整数倍时，测量电极 MN 应在测点桩号附近布极；当 $\overline{MN}/2$ 与测点间距不成整数倍时，布极宜使用非金属测绳。

2 测量电极 MN 位置的允许偏差为 $\overline{MN}/2$ 的 $\pm 2\%$ ，电极位置高差应小于 \overline{MN} 的 10% ，且偏差方向相对于测线方向应保持一致。

3 测量电极 MN 应使用合格的不极化电极或特制钢电极，不极化电极的极差应小于 2mV 。

4 连接导线绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

5 测量电极应接地良好，接地电阻不应大于 $2\text{k}\Omega$ 。

6 水平磁棒应水平埋设土中，保持水平尺水泡居中，方位角允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ ，仪器测试站点应距磁棒埋设点 10m 以上。

7 垂直磁棒应铅直入土 $2/3$ 棒长以上，垂直度允许偏差为 $\pm 2.5^\circ$ 。

8 连接电缆不应悬空、打圈，多余电缆应呈“S”形摆放，并压实。

5.3.4 数据采集应符合下列要求：

1 测试前应检查电道和磁道连接线连接和接地电阻情况。

2 仪器操作员应记录相应的工作班报。

3 每测站或测点的最低频率应按本规程附录 C 的有关规定进行估算。

4 测试中人员应离开磁探头 10m 以上，并不应使用通信工具。

5 每测站完成测试后宜检查各测点的视电阻率、相位曲线形态和异常频点的分布情况，视电阻率曲线和相位曲线上异常频点数均不应大于 15% 。

6 每天收工后应备份测试数据。

5.3.5 重复观测、检查观测应符合下列要求：

1 当一个测站或测点的曲线不符合本规程第 5.3.4 条第 5 款时，应进行重复观测。

2 当一个测站或测点的多次重复观测均不满足本规程第 5.3.4 条第 5 款时，应记录说明。

3 多次重复观测的曲线应形态一致，各频点视电阻率和相位的总均方相对误差 m 均不应大于 7.5%。

4 一条测线或测区工作完成后应进行检查观测。检查观测点不应少于该测线或测区总测点的 5%，且宜均匀分布，异常部位应有检查观测点。

5.3.6 资料检查和评价应符合本规程第 5.2.8 条的规定。

5.4 瞬变电磁法

5.4.1 测线网布置应符合以下要求：

1 应根据工作任务、现场条件和试验资料在布置图上按一定比例布置测线和测点。

2 测线宜垂直待查地质体走向布置，宜通过或靠近勘探点。

3 应根据任务精度要求确定测线网密度，点距宜为 2m～20m，线距宜为 5m～30m。

4 测线网应外延地质调查区边界外不少于 3 个测点。

5 测线和测点应测量放样并标识，水平位置和高程允许偏差为点距的 $\pm 5\%$ 。

6 当测量放点与原计划测网布置不一致时，应重新绘制测网布置图或补充放点说明。

5.4.2 装置选择应符合下列要求：

1 应根据地形地质条件选择重叠回线、中心回线、偶极、大定源回线装置。

2 隧洞施工超前地质预报宜选择重叠回线或中心回线装置。

3 深层探测宜选择大定源回线装置。

4 陡倾断层探测宜选择偶极装置。

5.4.3 仪器和装置工作参数应符合下列要求：

1 应根据最大探测深度、现场噪声电平和仪器精度，按本规程附录 C 的有关规定估算相应的发射电流、线框长度和匝数，并通过试验确定。

2 当地形起伏不大时，在保持较高发射电流的条件下，宜适当加大线框边长，减少线框匝数，以减少对早期场的干扰。

3 当地形起伏较大时，宜选择较高发射电流，减小线框边长，增加线框匝数，保持较大的发射磁矩。

5.4.4 数据采集应符合下列要求：

1 接收线圈应避免铁路、金属管线、输变电线等金属物体，必要时允许弃点。

2 不得在雷雨天气进行野外作业，突遇雷电时应迅速关机，断开仪器所有连接线。

3 采用中心回线装置时，接收框宜布置在发射回线中部1/3区域。

4 采用大定源回线装置时长边宜平行地质体走向敷设。

5 测试装置中心位置的允许偏差为接收线框边长的 $\pm 5\%$ 。

6 线框角点的点位与设计线框角点的点位允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

7 偶极装置发射线框面积允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

8 采用中心回线装置观测时， B_x 、 B_y 观测允许方向偏差为 $\pm 2.5^\circ$ ，观测 B_z 时线圈架水泡应居中。

9 敷设线框时，应将剩余导线呈“S”形铺于地面，不得将其留在绕线架上。

10 发射线框的电阻宜小于 6Ω ，导线应质软、耐磨、绝缘电阻应大于 $2M\Omega$ 。

11 应通过现场试验确定时间窗口长度和观测道数。

12 在所规定的测道时间范围内，尾道位于噪声电平以下的道数不应大于3道。

13 在异常点附近应加密测点，边界点出现异常时应延长测线。

5.4.5 重复观测和检查观测应符合下列要求：

1 出现异常、曲线畸变的测点应重复观测。

2 重复观测点均方相对误差 m 大于 10% 时, 应查明原因, 消除误差。必要时, 可移动点位重测, 并记录。

3 每个测区的检查点不应少于测点总数的 5%。

4 检查点应在全测区分布均匀, 异常地段、可疑点、突变点应有检查点。

5.4.6 资料检查和评价应符合下列要求:

1 单个测点的观测、重复观测或检查观测曲线形态应一致, 且各观测道的总均方相对误差 m 不应大于 10%。

2 一条测线或测区检查的总均方相对误差 m 不应大于 10%。

5.5 感应电磁法

5.5.1 测线网布置应符合下列要求:

1 测线方向应与探测目标体走向垂直或大角度斜交。

2 探测地下污染区、地下构筑物时, 应布置测网, 线距宜为 1m~2m; 剖面测试宜采用全球卫星定位系统 (GNSS) 实时定位。

3 探测溶洞时, 测点间距宜为 0.5m~1m, 线距宜为 2m~5m。

5.5.2 测试工作方式选择应符合下列要求:

1 探测管线、地下构筑物或金属埋设物时, 宜选择单频或混频工作方式。

2 探测地下污染区时, 宜选择多频、混频和多线圈距工作方式。

3 探测溶洞时, 宜选择多线圈距工作方式。

5.5.3 数据采集应符合下列要求:

1 测试前应检查和连接好仪器, 按照试验确定工作参数开展测试工作。

2 操作人员应除去随身佩带的金属和电子物品。

3 测试时应保持仪器呈近似水平状态。

4 一个工区测试时应保持仪器方向一致，且仪器长轴方向与测线平行。

5 采用 GNSS 实时定位方式时，GNSS 天线应固定在测试装置中心位置。

6 点测时，测试装置中心与测点位置允许偏差为 $\pm 0.25\text{m}$ 。

7 每条测线测试完成后，应及时进行曲线显示，初步确认异常分布情况。

5.5.4 重复观测和检查观测应符合下列要求：

1 异常部位、畸变点应进行重复观测。

2 每个测区的检查测线段或测点不应少于总测线或测点的 5%。

3 检查点应在全测区分布均匀，对异常地段、可疑点、突变点应有检查点。

5.5.5 资料检查和评价应符合下列要求：

1 连续测试方式的测试曲线、检查曲线应形态一致。

2 一条测线或测区检查的总均方相对误差 m 不应大于 10%。

6 数据处理和资料解释

6.1 一般规定

6.1.1 现场工作完成后应及时整理原始资料，原始资料检查应符合下列规定：

1 所有测点、重复观测点、检查观测点测试数据应检查合格。

2 所有原始资料应内容齐全、签署有效，纸质记录与电子记录相符。

6.1.2 数据处理应符合下列规定：

1 应整理测区全部测点或测线的曲线记录。

2 应对数据进行系统分析和评价，确定合理的滤波、圆滑、校正等预处理方法和技术。

3 应剔除不符合质量要求的数据。

4 应对比分析预处理前后各测点和测线的数据，必要时调整方法和参数重新处理。

5 应绘制处理后的单点、剖面曲线和平面图。

6.1.3 应结合地质资料、现场记录及已有物探成果进行定性解释。

6.1.4 定性解释应符合下列规定：

1 应分析曲线特征类型，初步确定测区电性层数量、相对厚度、深度序列关系。

2 应确定电性异常平面位置和大致范围、性状。

3 应分析测区内电性层的分布特征。

6.1.5 应在定性解释基础上进行反演与定量解释。

6.1.6 数据反演计算过程中应选择不同的反演方法和参数，对

比分析不同反演方法的结果，并与已知资料对比，确定合理的反演结果。

6.1.7 定量解释应符合下列规定：

1 应结合已有资料和电性参数，确定背景值和各目标体的划分标准。

2 应确定电性层结构或目标体的空间分布。

3 应绘制物探定量解释成果图。

6.1.8 成果解译应符合下列规定：

1 应收集测区的地质平面图或剖面图、地下构筑物布置图。

2 应将地质平面图或剖面图、地下构筑物布置图等与定量解释图相互对比分析，绘制相应的物探成果地质解译图。

6.2 可控源音频和音频大地电磁测深法

6.2.1 可控源和音频大地电磁测深数据处理宜包括数据编辑、曲线平滑、主轴判别、静态效应校正及地形校正。

6.2.2 数据编辑与曲线平滑应符合下列规定：

1 可删除畸变的个别频点，但删除的频点数不宜超过总频点数的 $1/4$ ，且不宜连续删除 3 个频点数；对曲线首尾支畸变的频点，可参考相邻测点进行校正。

2 可在数据编辑后，对视电阻率、相位曲线按 TE 或 TM 极化模式进行频率域二维低通滤波处理。

3 宜对每个测深点电阻率和相位曲线上的少数跳跃频点进行平滑处理。

4 宜在时间域筛选信噪比高的时间段计算电阻率及相位。

5 平滑处理时应充分考虑探测目的层的分辨要求和测线电性变化特征。

6 平滑后的曲线首支频点频率不宜低于最高频率的 80%，尾支应能反映深部电性目标层。

6.2.3 宜根据测线方位判别曲线的极化模式，采用合适的方法

计算主轴方位。

6.2.4 静态校正和地形校正应符合下列规定：

1 当地表电性差异较大时，应进行静态校正；当地形起伏较大时，应进行地形校正。

2 应在曲线平滑后，结合已知资料采用相应的软件进行静态效应综合分析，根据分析结果对视电阻率曲线进行静态校正。

6.2.5 近场测点应进行近场校正，校正后的视电阻率曲线应平滑连续，曲线尾支不应超过 45° 。

6.2.6 对于平均相对误差 $\bar{\delta}$ 在 10% 以上的点，可剔除或根据相邻点内插。

6.2.7 测深点曲线定性解释应符合下列规定：

1 应对全测区曲线类型进行对比、分类，根据曲线类型分析地电结构特征。

2 应重点分析钻孔电测井曲线资料的分层情况，确定各层电性特征。

6.2.8 反演与定量解释应符合下列规定：

1 应按本规程附录 C 的有关规定反演各频点的视电阻率值。

2 应在定性分析的基础上，结合钻孔、测井、地质等资料建立初始地电模型。

3 反演宜在静态校正后进行。

4 在地形起伏较大地区，宜以带地形的反演结果进行定量解释。

5 应对比同一测线多个分量的测深曲线类型和反演成果图，估算目标体的规模、位置、深度等相关参数，结合附近钻孔资料进行解译。

6 需三维建模时，应充分利用钻孔、测井、地质等资料为约束条件。

6.2.9 三维模型应进行切片解释。

6.2.10 图件绘制应包括以下内容：

- 1 工作布置图、数据处理中间成果图、反演成果图和解译成果图。
- 2 测深点的测试、重复观测、检查观测视电阻率和相位曲线图，经编辑、平滑、校正后的曲线图。
- 3 视电阻率-深度断面图、相位-深度断面图。
- 4 可根据观测方式特点绘制视电阻率三维立体图、相位三维立体图、各向异性系数图、主轴方位图、电场极化图和三维切片图。
- 5 成果解释图宜包括剖面图、平面图及必要说明。

6.3 瞬变电磁法

6.3.1 瞬变电磁法的数据预处理应主要包括数据校正、跳点平滑，资料处理应主要包括感应电压 V_q 、视时间常数 τ_t 曲线数据预处理和视电阻率 ρ_r 、视纵向电导 S_r 反演处理。

6.3.2 数据校正应将各种装置的记录坐标校正到相应的记录点坐标位置上，当相邻测点曲线出现初始时间延迟时，应进行时间校正。

6.3.3 应按本规程附录 C 的有关规定计算曲线相应时刻晚期场的视电阻率 ρ_r 和视时间常数 τ_t 。

6.3.4 定性解释应通过视电阻率 ρ_r 、视纵向电导 S_r 曲线的形态特征确定地电类型。

6.3.5 应反演出每条测线的视电阻率 ρ_r 、视时间常数 τ_t 、视纵向电导 S_r 的二维断面，并将其转换成深度剖面图。

6.3.6 应通过典型剖面曲线分析、时间常数计算、反演处理等方法得出异常体特性和空间分布情况。

6.3.7 成果图件应包括以下内容：

- 1 工作布置图。
- 2 各测线的多测道感应电压 V_q 、视时间常数 τ_t 曲线图。

- 3 早期、中期和晚期三个时间道的感应电压 V_q 、视时间常数 τ_i 等值线平面图。
- 4 反演后的视电阻率 ρ_r 拟断面图。
- 5 各测线和测区解译的剖面图、平面图及必要的说明。

6.4 感应电磁法

- 6.4.1 应计算各测点的场值比 Q 、视电导率 σ_s 、视磁化率 ξ_s 等参数，必要时应进行地形校正。
- 6.4.2 应根据测区地质、环境条件确定测区背景值、异常值。
- 6.4.3 应根据测线、测区 Q 、 σ_s 、 ξ_s 异常分布圈定目标体范围、走向和埋深。
- 6.4.4 成果图件应包括以下内容：
 - 1 工作布置图。
 - 2 各个频点和线圈距的 Q 、 σ_s 、 ξ_s 拟断面。
 - 3 Q 、 σ_s 、 ξ_s 平面分布图。
 - 4 成果解译图及必要的说明。

7 成果报告编写

7.0.1 电磁法勘探成果报告应目的明确、内容全面、方法技术阐述符合实际、数据处理和解译合理、结论明确、图表齐全。

7.0.2 当物探项目中只有部分电磁法勘探工作时，可不编写专项电磁法勘探报告，可将相关成果内容合并到综合物探成果报告中。

7.0.3 成果报告应包括概况、地质及地球物理特征、方法与技术、质量控制、数据处理与成果分析、结论与建议、附图与附表。内容应符合下列要求：

1 概况宜包括工程概况、任务来源、工作目的、工作时间、以往工作情况、工程量完成情况。

2 地质及地球物理特征宜包括地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质，地质体电性特征。

3 方法与技术宜包括所选用方法、现场试验情况、测网和测线布置、仪器性能及仪器参数选择。

4 质量控制应包括遵循的规程规范、质量评价。

5 数据处理宜包括处理流程、方法、参数，数据处理成果图和典型中间成果图。

6 成果分析宜包括电性分布特征、地质解译和成果图。

7 结论与建议宜包括物探成果结论、与其他勘探成果的验证对比情况、资料使用注意事项、本次物探工作尚未解决的问题、需要补充的其他物探工作、验证工作和下一步勘探的建议。

附录 A 电磁法勘探应用一览表

表 A 电磁法勘探应用一览表

勘探方法	应用项目												
	浅薄覆盖层探测	深厚覆盖层探测	隐伏构造破碎带探测	滑坡体探测	岩溶探测	地下水探测	防渗帷幕及堤防隐患探测	隧洞施工掌子面超前预报	深埋隧洞地质探测	地下污染区探测	地下构筑物探测	堤坝及防渗墙质量缺陷探测	采空区探测
可控源音频大地电磁测深法	△	○	○	○	○	△	△	—	○	—	—	△	△
音频大地电磁测深法	△	○	○	○	○	△	△	—	○	—	—	—	△
瞬变电磁法	○	△	○	○	○	△	○	△	△	△	△	△	○
感应电磁法	—	—	—	—	△	—	—	—	—	○	○	—	—

注：“○”为主要方法；“△”为辅助方法。

附录 B 电磁法仪器检查规定

B.1 可控源和音频大地电磁法仪器检查

B.1.1 开工前和收工后应进行仪器检查。

B.1.2 工作期间应定期检查，两次检查时间间隔不宜大于一个月。

B.1.3 仪器检查应选择在地形平坦、地表为覆盖层、下伏基岩岩性相对单一、附近无干扰源的地方。

B.1.4 仪器检查应进行系统检查，可控源音频大地电磁测深法应包括发射系统、接收机、磁探头、电极和连接电线，音频大地电磁测深法应包括接收机、磁探头、电极和连接电线。

B.1.5 测量电极宜等间距布置，数量与所检查的仪器通道数相当。

B.1.6 磁棒应分别埋设于两个相邻电极的中心点，或检查测站的中心位置。

B.1.7 在可控源或天然源工作状态下应进行不少于 30 个频点的重复检查观测，并依次计算各频点的视电阻率和相位值。

B.1.8 视电阻率和相位的总均方相对误差 m 均不应大于 3%。

B.2 瞬变电磁法仪器检查

B.2.1 开工前和收工后应进行仪器检查。

B.2.2 工作期间应定期检查，两次检查时间间隔不宜大于一个月。

B.2.3 仪器检查应选在地形平坦、地表覆盖层电阻率较高、下伏基岩岩性相对单一、附近无干扰源的地方。

B.2.4 仪器检查应进行系统检查，包括接收机、发射机、装置

线圈和连接电线。

B. 2.5 检查装置应采用重叠回线装置，发射电流强度不宜少于 10A，线框边长宜为 5m，采样道数不宜少于 12 道。

B. 2.6 应采用相同的参数进行重复检查观测，重复观测的曲线形态应一致，曲线类型应与地层电性相符。

B. 2.7 V_g 的总均方相对误差 m 不应大于 3%。

B. 3 感应电磁法仪器检查

B. 3.1 开工前和收工后应进行仪器检查。

B. 3.2 工作期间应定期检查，两次检查时间间隔不宜大于一个月。

B. 3.3 仪器检查应选在地形平坦、地表为覆盖层、下伏基岩岩性相对单一、附近无干扰源的地方。

B. 3.4 仪器检查应进行系统检查，包括接收机、发射机、装置线圈和连接电线。

B. 3.5 应选择多个频率和多线框距进行检查。

B. 3.6 宜采用重复观测检查方式，记录各频点测试的 Q 值，重复观测的曲线形态应一致，曲线类型应与地层电性相符。

B. 3.7 每个频率或线圈距的总 Q 的均方相对误差 m 不应大于 3%。

附录 C 基本公式

C.0.1 相对误差应按下列公式计算：

$$\delta = \frac{|d - d'|}{d} \quad (\text{C.0.1})$$

式中： δ ——相对误差；

d ——真值或约定值；

d' ——检查观测或重复观测值。

C.0.2 平均相对误差应按下列公式计算：

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i \times 100\% \quad (\text{C.0.2})$$

式中： $\bar{\delta}$ ——平均相对误差；

N ——检查点总数；

i ——检查点编号；

δ_i ——第 i 个检查点的相对误差。

C.0.3 均方相对误差应按下列公式计算：

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i^2} \times 100\% \quad (\text{C.0.3})$$

式中： m ——均方相对误差；

N ——检查点总数；

i ——检查点编号；

δ_i ——第 i 个检查点相对误差。

C.0.4 电磁测深趋肤深度应按下列公式计算：

$$h_{\delta} = \sqrt{\frac{2\rho_c}{\mu\omega}} \approx 503 \sqrt{\frac{\rho_c}{f}} \quad (\text{C.0.4})$$

式中： h_{δ} ——趋肤深度（m）；

ρ_c ——可控源大地电磁实测卡尼亚视电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）；

μ ——地层磁导率 (H/m);
 ω ——电磁波角频率 (rad/s);
 f ——入射电磁波频率 (Hz)。

C.0.5 卡尼亚视电阻率应按下列公式计算:

$$\rho_c = 0.2T \left| \frac{E}{H} \right|^2 \quad (\text{C.0.5})$$

式中: ρ_c ——卡尼亚视电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);
 T ——电磁波周期 (s);
 E ——测量的电场幅值 (mV/km);
 H ——测量的磁场幅值 (nT)。

C.0.6 瞬变电磁法中心回线装置探测深度极限估算值应按下列公式计算:

$$H = 0.55 \left(\frac{L^2 I \rho_1}{\eta} \right)^{1/5} \quad (\text{C.0.6})$$

$$V_\mu = R_m V_z$$

式中: H ——中心回线装置探测深度极限估算值 (m);
 ρ_1 ——上覆电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);
 V_μ ——最小可分辨电平, 一般为 0.2~0.5 ($\text{m}\mu\text{V}/\text{m}^2$);
 R_m ——最低限度信噪比 ($\text{m}\mu\text{V}/\text{m}^2$);
 V_z ——噪声电平 ($\text{m}\mu\text{V}/\text{m}^2$)。

C.0.7 瞬变电磁法晚期场视电阻率应按下列公式计算:

$$\rho_r(t) = \frac{\mu}{4\pi} \left(\frac{2\mu IL^2}{5V_g/S_r} \right)^{2/3} t^{-5/3} \quad (\text{C.0.7})$$

式中: ρ_r ——晚期场视电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);
 μ ——磁导率 (H/m);
 V_g ——接收线圈接收的感应电动势 (V);
 I ——发射电流 (A);
 L ——发射线圈边长 (m);
 t ——断电后时间 (ms);

S_r ——接收线圈有效面积 (m^2)。

C.0.8 瞬变电磁法衰减时间常数应按下列公式计算：

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln[V_g(t_1)/V_g(t_2)]} \quad (\text{C.0.8})$$

式中： τ ——衰减时间常数 (μs)；

t_2 、 t_1 ——电磁场衰减时刻 (μs)；

$V_g(t_1)$ 、 $V_g(t_2)$ ——衰减电磁场 t_2 、 t_1 时刻的强度 (μV)。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《水力发电工程地质勘察规范》 GB 50287
- 《水电工程物探规范》 DL/T 5010
- 《大地电磁测深仪使用与维护》 SY/T 5930
- 《电法勘探瞬变电磁仪》 SY/T 6841

中华人民共和国能源行业标准

水电工程电磁法勘探技术规程

NB/T 35105—2017

条 文 说 明

制 定 说 明

《水电工程电磁法勘探技术规程》NB/T 35105—2017，经国家能源局 2017 年 11 月 15 日以第 10 号公告批准发布。

本规程制定过程中，编制组在广泛调查、深入研究的基础上，总结了水电工程电磁法勘探的实践经验，吸收了近年来电磁法勘探方法、仪器设备、数据处理等方面的成果，并向有关设计和科研单位征求了意见。

为便于广大工程勘察、设计、施工、科研、学校、建设管理等方面的有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水电工程电磁法勘探技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1 总则..... 44

3 基本规定..... 45

 3.1 应用范围及适用条件 45

 3.2 电磁法勘探工作流程 47

 3.3 成果校审与资料归档 47

4 仪器设备..... 50

 4.1 仪器设备技术要求 50

 4.2 仪器使用与保养 53

 4.3 仪器检查 54

5 现场工作..... 55

 5.1 试验工作 55

 5.2 可控源音频大地电磁测深法..... 56

 5.3 音频大地电磁测深法 59

 5.4 瞬变电磁法..... 62

 5.5 感应电磁法..... 65

6 数据处理和资料解释..... 66

 6.1 一般规定 66

 6.2 可控源音频和音频大地电磁测深法 66

 6.3 瞬变电磁法..... 69

 6.4 感应电磁法..... 73

1 总 则

1.0.2 电磁法的方法含盖十分广泛，本规程主要针对水电行业勘测设计特点规定了可控源音频大地电磁和音频大地电磁、瞬变电磁和感应电磁法四种方法，前两种方法是深层勘探方法，瞬变电磁法兼顾深层和浅表勘探，感应电磁法主要以浅表精细为特点。电磁法广泛应用于堆积体、深厚覆盖层、深埋藏地下洞室的勘探，同时也广泛应用于城市管线、浅表构筑物、污染环境调查等探测。

3 基本规定

3.1 应用范围及适用条件

3.1.1 在选择电磁法勘探方法时，主要是从两个方面来考虑，一是地质要求，二是物探方法本身所要求的地质、物探条件。探测目的、探测内容、探测精度要求主要由任务的性质决定，《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287、《水电工程物探规范》DL/T 5010 是决定任务的主要依据，本规程附录 A 是综合了地质任务和条件要素而推荐的一个方法选择表。

3.1.2 针对勘探任务规定可控源音频大地电磁和音频大地电磁方法的应用范围，主要为地质和物探项目负责人在编制工程勘察大纲和项目勘探大纲制定时使用。规定的主要原则是依据方法特点和现场地形地质条件，但也有其他因素，如质量精度、工期、经济性、环境和社会等因素，有些因素在一定条件下会成为选择某种方法的主要因素，如在西藏进行深厚覆盖层勘探，选择不使用火工材料就变为主要因素。

3.1.3 针对可控源音频大地电磁法所要求的勘探条件而规定方法本身所需要的地质和物探条件，主要是为编制物探勘探工作大纲的物探技术负责人制定的。从测区的地球物理条件、环境影响因素等规定方法的使用条件，关键条件是场源布置条件是否满足，测区是否存在高压电线等强电磁干扰。可控源大地电磁法测区地形坡度不超过 30° ，测线布极地表为湿润土层为佳。由于该方法的探测深度较深，解决的都是大地质目标，对电性层要求不太苛刻，但地层电阻率高低严重影响其探测深度。但该方法近地表盲区范围大，实际工程应用表明，不利于浅部勘探。

3.1.4 为编制音频大地电磁法勘探工作大纲的物探技术负责人制定的，关键条件是测区是否存在高压电线等强电磁干扰、现场天然源电磁场是否发育和频谱丰富。一般来说，夏季和秋季、早晚时间天然源频谱丰富、能量较强，临近城市、工业厂区等人文电磁场干扰严重地区，当天然电磁场能量弱时，会造成测试数据质量差，这时一般采用加大测试电极距，加密测点，设置更长的采集时间、进行更多次的叠加来改善。

近年的研究和工程经验表明：天然源电磁勘探所使用的电磁波不全是来自太阳风和电离层，高频部分主要产生于附近的人类生产、生活过程，如附近城市、无线机站、变电站等，这些高频部分主要解决了浅地表勘探问题。

按照一般的科学试验原则，可控源大地电磁法具有稳定的场源，其测试数据质量具有较好的重复性。由于山区地形限制，经常难以满足远场区测试条件，实际工作中还存在近场和过渡场测试，会存在场源效应。

3.1.5 为选择和使用瞬变电磁法勘探的地质和物探技术负责人制定的，便于在工程勘察大纲和项目勘探大纲制定时使用。瞬变电磁法相对于其他勘探方法的定量解释程度偏低，但能适应沙漠、裸岩等高阻抗地区工作的优点。近年来，在隧洞地质超前预报方面也应用广泛。

3.1.6 为编制瞬变电磁法勘探工作大纲的物探技术负责人制定的。瞬变电磁法最典型的适用条件是用于上覆高阻、下伏低阻的沙漠和裸岩地区，同时，现场植被、人员通行和线圈布设难度是决定工作难度的重要条件。

3.1.7 为选择和使用感应电磁法探测的地质和物探技术负责人制定的，便于在工程勘察大纲和项目勘探大纲制定时使用。感应电磁法概念包含较宽，本规程只指具有固定发射和接收线框，并可进行多频、多线圈距测试的可编程感应电磁法，这类方法仪器的智能化水平较高，具有 GPS 测点自动快速定位，随身快速自

动扫描测试等功能，主要应用于浅埋藏构筑物、场地污染环境调查、岩溶探测等。

3.1.8 为编制感应电磁法勘探工作大纲的物探技术负责人制定的。感应电磁法主要用于面积性普查，由于仪器可随身携带且采用与地表的非接触测试方式，适用的条件范围较大。

3.2 电磁法勘探工作流程

3.2.1 水电工程勘察设计一般是按阶段划分的，每个阶段又根据水工建筑物和场地特点安排相应的勘察任务，所以，水电工程电磁法勘探工作应按《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287规定的阶段和任务要求进行。电磁法勘探工作流程受勘察阶段、任务特点的影响，在实际工作中可根据委托方要求和项目特点，合理简化某些中间流程。

3.2.2 搜集的地质资料包括地质图、报告、钻孔地质柱状图等，对于水电工程来说，一般是阶段性勘察大纲、地质任务书、上阶段勘察成果报告及相关图件等。勘察大纲和任务书一般都详细给出了任务目的、内容、技术要求、工作测线起止坐标、工期等，甚至包括了职业、环境和安全风险识别等内容。

3.2.3 水电工程的物探任务一般在勘察大纲编制前都组织相关专业人员现场踏勘，现场提出主要地质问题，可能的解决方法。有些物探队伍一般在任务书下达后也会组织项目技术人员进行现场踏勘，但主要是了解场地条件、测线网布置等。

3.2.4 电磁法项目勘探方案一般是在任务书下达、现场踏勘后，由项目负责人组织编制，内容可根据施工单位的要求增加一些有关质量控制、安全保障等内容。

3.3 成果校审与资料归档

3.3.1 电磁法勘探记录和其他物探记录一样，是记录工作过程和仪器状态、测试原始数据的见证，符合当前国际国内流行的

ISO 和 CMA 两大质量认证体系的要求。原 95 版水电物探规程规定了主要记录的格式，在编制 2005 版和本规程过程中，根据行业内各单位和专家意见，不对记录格式作具体规定，由各单位按其自己的质量管理体系确定。

3.3.2 本条保留了《水电水利工程物探技术规程》DL/T 5010—2005 的技术要求。

3.3.3 现在的仪器大多是智能化、大存贮模式，当一台仪器短时间内进行多项工作时，为保证电子记录的数据与现场记录不发生张冠李戴的现象，原始采集记录应与仪器操作记录对应。仪器操作记录有时和布极班报是在一个记录，有的以仪器操作记录为主，同时附上布极班报和数据文件路径及文件名，具体由每个单位根据自己的质量管理体系规定记录格式。

3.3.4 布极班报是记录现场测试时的重要信息，对于后期的数据预处理、反演、资料解释和地质成果解译非常有用。

3.3.5 物探工作具有较强的现场及时性，一般是当天晚上或隔天整理白天或前一天测试的记录和数据，避免因记录不全或质量检查不合格造成返工，也有利于保持记录完整。

3.3.6 校审工作不只是进行报告文字和结果的简单校审，应进行工作流程、处理过程的完全校审，以确保校审质量。

3.3.7 本条规定了在校审过程中对电磁法勘探记录质量判断合格和不合格的条件，以便校审人员更好地把握。

3.3.8 本条规定了成果报告提交的质量控制要求。

3.3.9 在质量检查工程中，经常会出现只提交成果报告和地质解译成果图给校审人员的情况，这种情况也不符合当前 ISO 和 CMA 质量认证管理体系要求。一项电磁法勘探任务，资料校核一般包括数据预处理、反演计算、物探资料成果图及解释、地质成果解译图、成果报告等，审查是对任务全过程的审查，所以，应提交全过程的资料。

3.3.10 本条规定了电磁法勘探成果报告校核的主要内容，校核

的重点是数据计算处理、分析解释的过程和结果。

3.3.11 本条规定了电磁法勘探成果报告校审查的主要内容，重点是过程的合规性、成果的合理性和结论的正确性。

4 仪 器 设 备

4.1 仪器设备技术要求

4.1.1 当前国内广泛使用的可控源音频大地电磁仪器主要有欧美和国产两大类，美国和加拿大厂商生产的多功能电法仪，如美国 Zonge 公司的 GDP 系列、加拿大 Phoenix 公司生产的 V5、V6、V8 系统和美国 Geometrics 公司生产的 EH-4 系统。近年来国内研制的仪器技术质量也显著提升。

GDP-32 II 仪器共有 8 个接收通道，具有可控源大地电磁、时域和频域激发极化、谱激电、复电阻率、瞬变电磁等功能，工作频率：0.007Hz~8192Hz；24h 之内的时钟稳定度： 5×10^{-10} s~10s；输入阻抗：10 Ω /DC；动态范围：190dB；最小检测信号电压：0.03 μ V；相位： ± 0.1 mrad；最大输入电压： ± 32 V；自动补偿电压： ± 2.25 V；增益：1/8~65536（自动）。

V8 具有天然源和可控源大地电磁法、各种激发极化、时域电磁法、瞬变电磁法等功能，发射和数据采集使用 GPS 同步技术和多功能网络化物探数据采集和发射技术，发射系统由 MG-30、T-30、RXU-TM 和控制器四部分组成。MG-30 由三相电压输出，额定功率 30kW、发射频率 400Hz、最高每相 208V，T-30 最大输出功率 25kW、最大输出电压 1000V、最大输出电流 60A、频率输出范围 0.0156Hz~9600Hz，RXU-TM 用于控制、记录发射机的发射频率、电流强度、相位等发射参数。V8 采集系统由 V8 主机 RXU-3 采集控制器、电极、磁棒、电缆组成，V8 主机是整个采集系统控制中心，它可以通过 GPS 无线或有线通信，记录、保存 RXU-3 采集器的数据，具有 3 个电道和 3 个磁道。RXU-3 在 V8 主机控制下或单独进行数据采集、

记录、保存工作，每个盒子有 3 个电道。

EH-4 为双源大地电磁测深系统，采用 EMI 磁可控源技术与天然场源相结合，它用一组垂直布置的磁偶极子作为张量发射磁可控源，发射频率从 500Hz 到 100kHz 的电磁波，以弥补大地电磁场的寂静区和几百赫兹附近的人文电磁干扰谐波。

EH-4 既具有有源电磁法的稳定性，又具有无源电磁法的节能和轻便，EH-4 具有现场对数据质量、信噪比的质量监控功能，以保证操作员随时对数据质量进行评估。接收频点最多达 60 个。发射采用两个正交的半圆形发射天线，不需要布设很长的发射导线，能同时接收和分析 X、Y 两个方向的电场和磁场，反演随深度变化的横向电导率张量剖面，对判断二维构造特别有利；仪器设备轻，观测时间短，完成一个近 1000m 深度的测深点，大约需 15min~20min；时间域多次迭加采集数据；选配的反演软件可进行实时数据处理和显示。频率范围：0.1Hz~92kHz，发射机带垂直天线线圈的 TxIM2 型发射机，步频率范围 500Hz~70kHz，冲量 400Amp·m²。天线尺寸：2 个 4m² 的垂直交叉线圈。电源：12V，60Ah 电瓶。电极：4 个 BE-26 型带缓冲器的有效高频偶极子以及 4 个不锈钢电极，26m 电缆。磁棒探头：2 个 BF-IM 磁感应棒（10Hz~100kHz），10m 电缆。模拟终端：1 台 AFE-EH4 模拟讯号调节器，用它将一对电极和一对磁棒的数据传至采集单元。数据采集单元为 2 个电通道和 2 个磁道，18 位模数转换。32 位浮点数字信号处理器，带宽：DC-96kHz。

4.1.2 音频大地电磁与可控源音频大地电磁的接收相同，在三维勘探方法，仪器主要采用多站点接收仪，仪器主要以国产为主。

4.1.3 当前，国内瞬变电磁法仪器的类型和型号较多，少量使用国外多功能电法仪的瞬变电磁部分，但绝大部分单位使用具有瞬变电磁专一功能的仪器，这些仪器既有欧美产品，也有国内产

品。国外仪器主要有澳大利亚 SIROTEM-Ⅲ型，加拿大 Digital PEM 系统、EM 系列和 ETM 系统，美国的 V8 和 GDP-32，国内有中国地质大学（武汉）生产的 CUGTEM-4 型和 CUGTEM-GK1 型，长沙白云 SD-50 型，吉林大学 ATEM-Ⅱ型，重庆地质仪器厂 WTEM 型，西安物化探研究所的 EMRS-2 型以及北京地质矿产研究所生产的 TEMS-3 型等。

4.1.4 感应电磁法仪器最典型的是英国雷迪公司的管线探测仪，它主要是进行城市管线探测，由于已有相关标准，本规程不再规定。本规程主要规定工程场构筑、地环境调查和浅埋藏地质调查所涉及到的电磁感应仪器，是利用电磁感应原理进行探测的一种方法，原理如图 4-1 所示。最具代表性的是美国 GEM 系列电磁感应仪。GEM-2 是一种最新型的便携式、数字化、可编程的宽频带电磁感应勘探仪器，适用于浅层地质勘探，环境调查和工程地质勘测。具有操作简单、快速、轻便、可编程等特点，可做梯度，具有高密度的三维空间数据采集功能。GEM-2 的发射和接收线圈固定在一个配有背带的，貌似滑雪板的装置中，包含所有电子元件的机匣可以嵌入滑雪板上，掌中电脑（PDA）粘贴在机匣上作为用户界面和显示。GEM-2 电磁仪适用于浅层

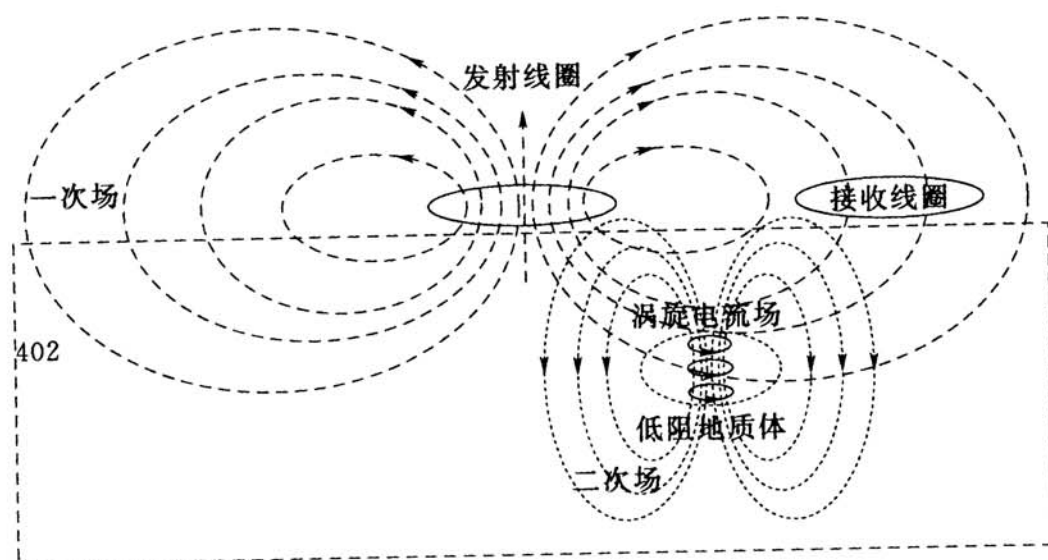


图 4-1 感应电磁法工作原理图

地质调查、地下水勘探、工程地质调查、土壤调查、考古、环境污染调查、地下设施勘查、电磁环境监测。可编程宽频带操作，适用于不同深度目标体的探测，目前 GEM 已发展到多个型号。

感应电磁法在浅表部测深有两种方式，一是与大地电磁一样进行频率测深，另一种是通过改变线圈的收发距进行测深（如图 4-2 所示）。

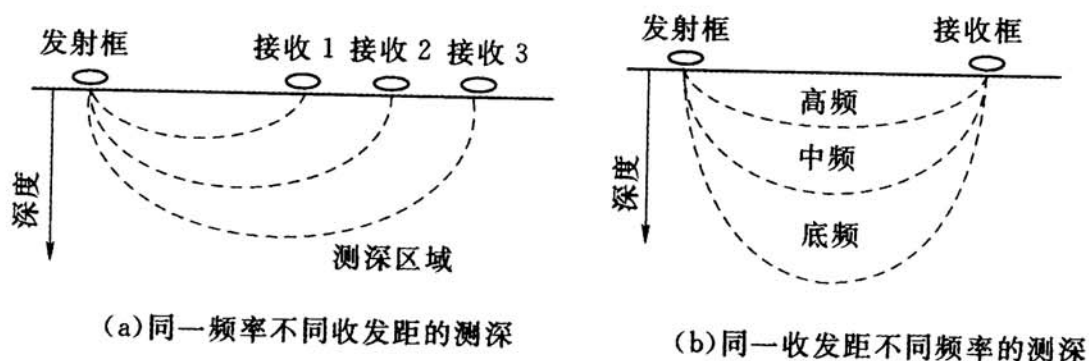


图 4-2 感应电磁法的测深原理示意图

4.2 仪器使用与保养

4.2.1 随着网络互连技术的发展，许多仪器使用说明书都采用电子文档的形式保存，也有直接将仪器说明书采用电子文档固化在仪器电子硬盘上，随时使用，本规程建议仪器使用说明书应采用 PDF 格式文档，应根据厂家要求随时保持版本的更新。

4.2.2 石油勘探行业是国内最先开展电磁法标准化的行业，可控源和天然源大地电磁测深仪器按《大地电磁测深仪使用与维护》SY/T 5930 进行系统维护管理，瞬变电磁仪器按《电法勘探瞬变电磁仪》SY/T 6841 进行系统维护管理，感应电磁法仪器没有相关具体的仪器管理维护技术标准，建议按相应的仪器说明书要求进行维护管理。

4.2.3 专业物探队伍驻地的仪器专用存放室达到清洁、干燥、防尘、通风条件较容易，但工地现场的临时驻地选择仪器存放室应事先进行勘察和评价。

4.2.4 随着仪器供电模块技术的发展、节能技术的提高，接收仪器基本采用内部固定电池供电，这些电池基本都固化在电源模块中，所以应按电池的充电周期进行维护。

4.2.5 电磁勘探仪器都有标准的外包装，在运输过程中不应除去外包装，以免损坏仪器。

4.2.6 电磁勘探工作中，一个任务或项目一般都安排一至两个仪器操作员，新学员上机操作应先培训。

4.2.7 仪器维修时，在更换一些部件时，仪器的某些参数会变化，需要进行重新检查。

4.2.8 电磁勘探类仪器的供电和测试连接电线的内阻要求不同，不能互换和替代。

4.3 仪 器 检 查

4.3.1 每台仪器都规定了检验周期，一般是一年，如果某台仪器中间进行了电路维修，则其下一个检验时间应从该次维修后检验日起算，工作现场的开工和收工检查与年检不同，它是项目质量控制的环节。当仪器用于第三方检测时，应按 CMA 要求送由当地技术监督局或具备相应检验资格的单位或机构进行检验。

4.3.2 现场检查是项目质量控制的重要环节，要求进行检查的仪器、附属配件与项目现场工作使用的一致，以保证系统检查的全面性。

5 现场工作

5.1 试验工作

5.1.1 现场试验工作基本是物探工作的保留工作环节，本条规定了现场试验的原则，重点是地层的电磁参数与观测系统间的匹配问题。

5.1.2 电磁法勘探大项目需要由项目负责人组织项目人员编制试验方案，小项目一般在进入现场后简单做一些选择试验，记录即可。

5.1.3 本条规定了试验位置的选择和试验的原则，选择在勘探场地中间是为了保证试验具有代表性，通过已有勘探点是为了方便试验对比。

5.1.4 电磁法勘探发射和接收都是无线电磁信号，为避免干扰异常，避开干扰源和在资料处理时剔除干扰是非常必要的。

5.1.5 电磁法现场试验是现场测试，由现场负责人作出结论，和正式生产环节紧密相连，如果试验得不出正确的工作方法和技术参数，才向单位负责人报告试验情况。

5.1.6 这种情况一般都是工作量大、工作时间长的项目，有时是测区内地层岩性发生了变化，有时是气候和外围电磁场环境发生了重大变化。

5.1.7 本条规定了可控源和音频大地电磁测深法现场试验的主要内容，可控源重点是发射场的布极、观测装置选择、仪器工作参数选择等，天然源主要是天然电磁场品质、观测装置、仪器工作参数选择等。

5.1.8 本条规定了瞬变电磁法试验工作的主要内容，由于该方法装置多，探测深度与发射电流、线圈边长、线框匝数及地层电

导率特性等关系复杂，所以，试验工作是瞬变电磁法的主要工作内容，占用的时间有时会比正式工作的时间还长。

5.1.9 感应电磁法一般布置测网进行调查，试验主要内容是线圈距、频率和仪器工作参数选择。该方法的适应性较强，现场工作所受条件影响较少，仪器操作方便。

5.2 可控源音频大地电磁测深法

5.2.1 水电工程可控源大地电磁法主要用于隧洞、库区堆积体、坝址深厚覆盖层探测，多布置为测线，但勘探精度要求比石油、矿产勘探要高。所以，一般测线点距在 5m~50m 之间，但由于大地电磁测深法是一种微小信号测试方法，为保证测试电极电位差的可靠性，在测试时又采用大测试电极距，就出现了测试点距大于测试电极距的情况，这也是这种方法在工程探测中的一个特点。测点与干扰源的距离是一个估算量，主要依据现场干扰情况而定，涉及最多的是电网，低压电网一般采取与电网管理者协商临时断电的方式。

5.2.2 可控源音频大地电磁测深法主要采用电偶极子供电，电偶极子发射场布置有单一场源、垂直分离场源、垂直重叠场源 3 种形式，工程勘探一般使用单一场源。电偶极子是线源场，场源区和测试区的条件关系如图 5-1 中的阴影区域所示。

5.2.3 使用磁偶极子发射场的目前只有 EH-4，磁偶极子采用垂直地面的球形辐射方式。磁偶极子是点源场，测试区按远近分为近区和远区。距发射点距离小于最大探测深度 3 倍的区域为近区场，之外的为远场区。由于磁偶极子发射有效测试区域是圆环形的，且发射功率小，覆盖范围小，经常需要移动发射站。

5.2.4 可控源音频大地电磁测深现场测试方式主要为标量和张量（也称矢量）两种，但其现场的布置形式还有多种（如图 5-2 所示），不同的方式可呈现不同的效果和精度，但成本和工作难度也相差较大。由于地下地层或地质体的电性呈各向异性分

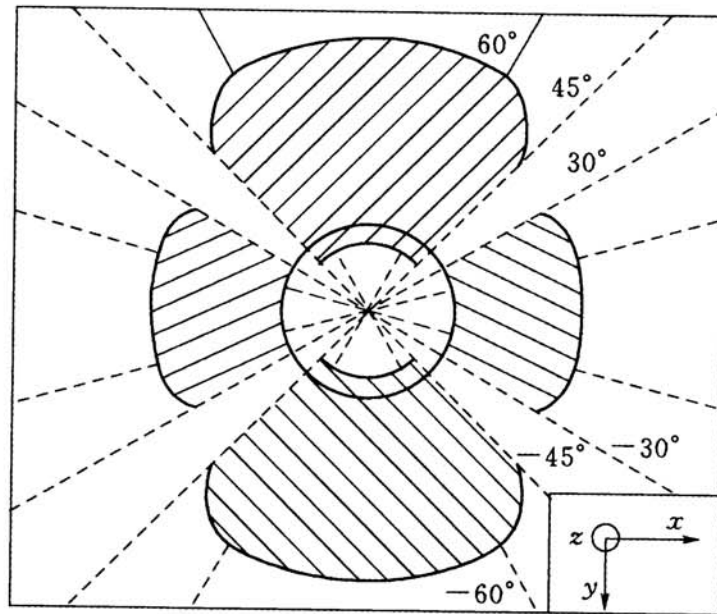
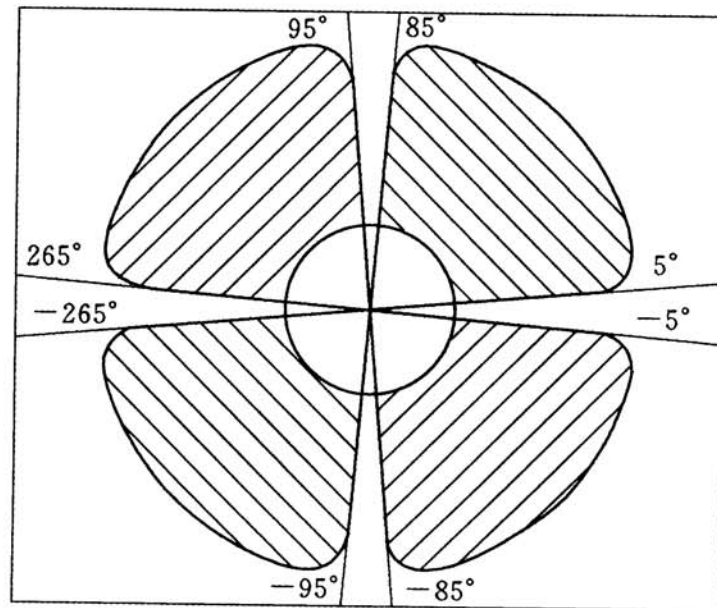
(a) E_x 、 H_y 标量数据有效测试区(b) E_y 、 H_x 标量数据有效测试区

图 5-1 可控源大地电磁测深场源区和测试区的分布示意图

布，在电磁场中会呈现不同的极化方式，标量和张量主要是解决不同电性体在不同方向上的异常反应情况，以便于提高探测精度和分辨率。

5.2.5 GDP、V5、V8 仪器的接收为一站多道测试方式，由于

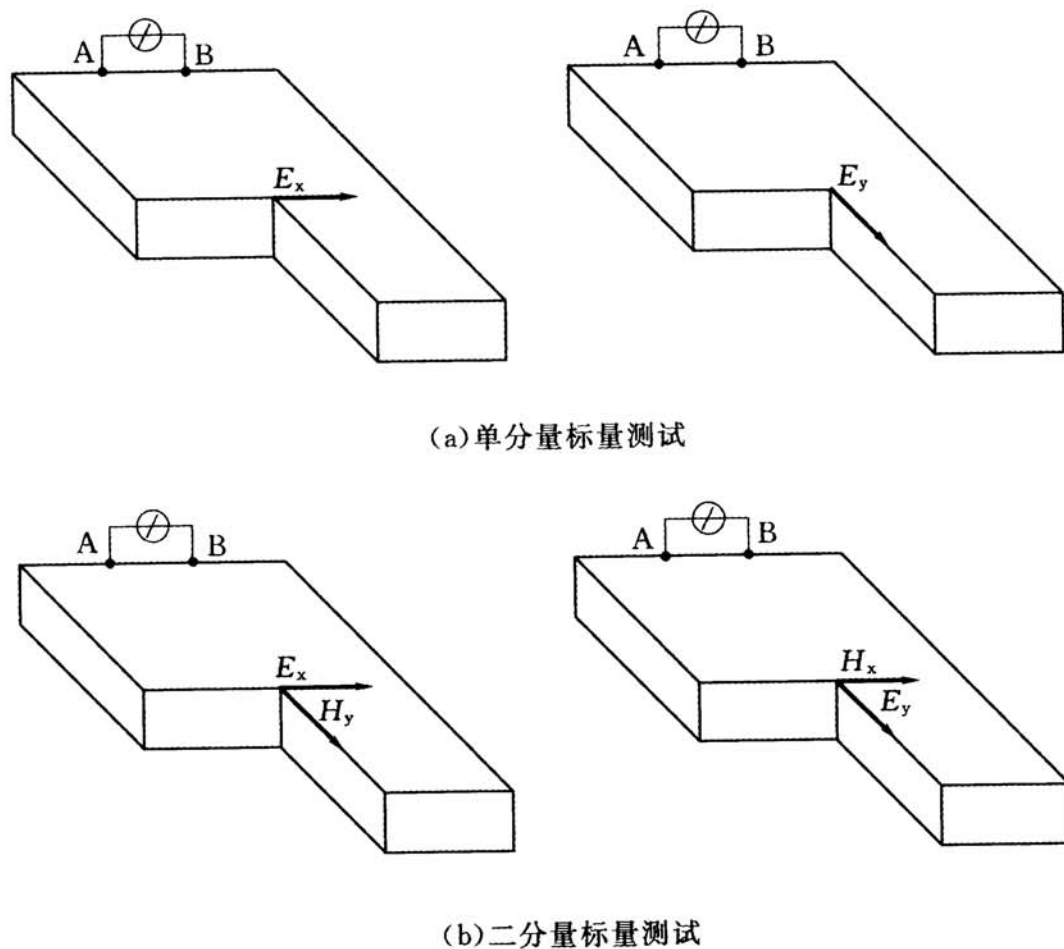


图 5-2 可控源大地电磁测深常用测试装置示意图

工程勘探的特殊性，广泛存在测试电极距 $\overline{MN}/2$ 大于点距现象，造成测试电极位置不在测点桩上，所以，出现这种情况都是采用测量皮尺，以测点为中心点，沿测线向两侧布置电极。

5.2.6 可控源音频大地电磁测深采集原始数据为电道和磁道上的全频电位值，当完成一站或一个测深点的全频数据采集后，一般由仪器自带软件及时处理并显示每个测深点的视电阻率和相位曲线，有的仪器还显示每条曲线的偏差值，根据偏差值来评估曲线质量，以确定是否重复观测，有的仪器没有显示评价曲线质量的参数，这种情况下要根据曲线形态和异常频点占总频点的百分比来判断数据质量和是否重复测。由于可控源大地电磁法是一种深部勘探方法，定量精度不要求太高，同时其观测数据受影响的

因素也较多，所以，一般现场对电阻率和相位曲线的质量要求精度不宜太高。测试磁探头的方向一般使用罗盘来控制，由于罗盘的测试误差在 $\pm 2.5^\circ$ ，所以，角度误差也控制为 $\pm 2.5^\circ$ ；测试磁探头的倾角采用水平尺，根据气泡居中度来判断水平程度。

5.2.7 物探与测绘都会出现“测量”，测绘的测量已为大众广泛接收，而物探人员也习惯上将现场测试物理量或信号也称为“测量”，本规程为了避免出现混淆，进行如下规定：“测量”一词专指测绘工作，涉及物探物理量或信号“测量”的规定为“观测”或“测试”，如“现场测试”“测试电极”“检查观测”“重复观测”等。

重复观测一般是在一个测站或一个测深点测完后，根据仪器现场处理和显示的电阻率、相位曲线形态和异常频点所占总频点的百分比来评价该测点和测站的数量质量，确定是否重测。关于检测点的布置原则与直流电测深相似，由于该方法布置发射站需要花费很长的工作时间，所以，检查点一般是按每个发射站进行的，不会采用回头布置发射站来检查，只有 EH-4 仪器除外。GDP 和 V5、V8 仪器均采用电偶极子，在长剖面上存在两个发射站间的数据衔接问题，本标准采用两站间部分测点覆盖的处理技术。

5.2.8 可控源音频大地电磁测深一个测深点有电阻率和相位两条曲线，每条曲线由多个频率点组成，平均相对误差就是计算每条曲线上各个频点相对误差的平均值，每条曲线只能算出一个平均相对误差值，利用一条测线或测区上全部检查点的平均相对误差来计算均方相对误差。

5.3 音频大地电磁测深法

5.3.1 相对可控源音频大地电磁来说，音护短大地电磁法没有发射场源的布置问题，现场工作要简单一些。但由于天然源的不稳定性，质量控制较困难，因此，布置多条平行测线或测网是该

方法现场测线布置的一个特点。石油和矿产探测中使用的天然源电磁法仪器与工程物探中使用的仪器差别较大，前者主要使用分布式电磁接收仪，工程勘探使用精度更高、性能更稳定的 EH-4、GDP 和 V5、V8 的天然源接收功能，另外，两者的探测精度要求不同，工程勘察要求更精确，所以，一般采用小点距，大极距的测线方式。天然源大地电磁的干扰源主要是临近干扰，重点是工业供电线网和变电站、无线基站等。

天然源大地电磁测深的二维观测方式如图 5-3 所示、三维观测方式如图 5-4 所示，不用考虑发射源，但对布极条件要求较高，采用 4 分量张量测试。

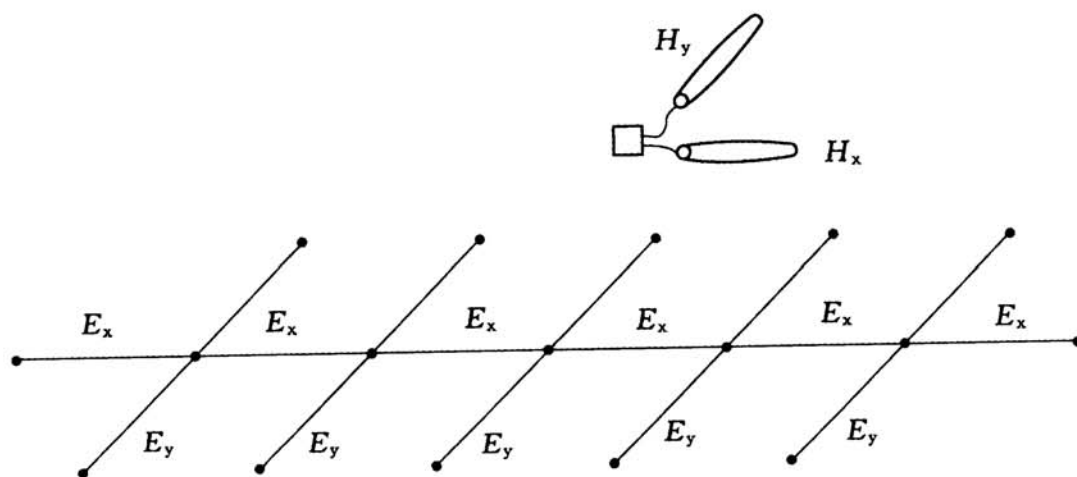


图 5-3 音频大地电磁测深二维张量测试示意图

5.3.2 由于音频大地电磁法受到天然和人文电磁的干扰较大，标量测量数据质量较差，所以，本规程规定该方法不允许采用电磁场标量测量方式，但当地形复杂时可以保持测量电极方位不变将测量装置平移。

5.3.3 现场测试磁探头的方位一般使用罗盘来控制，由于罗盘的测试误差为 $\pm 2.5^\circ$ ，所以，磁探头的方位和角度误差也控制为 $\pm 2.5^\circ$ 。现场测试磁棒的水平度采用的是水平尺寸，水平度以气泡居中为评价标准。

5.3.4 音频大地电磁测深每测站或测深点测试的是各个电道和

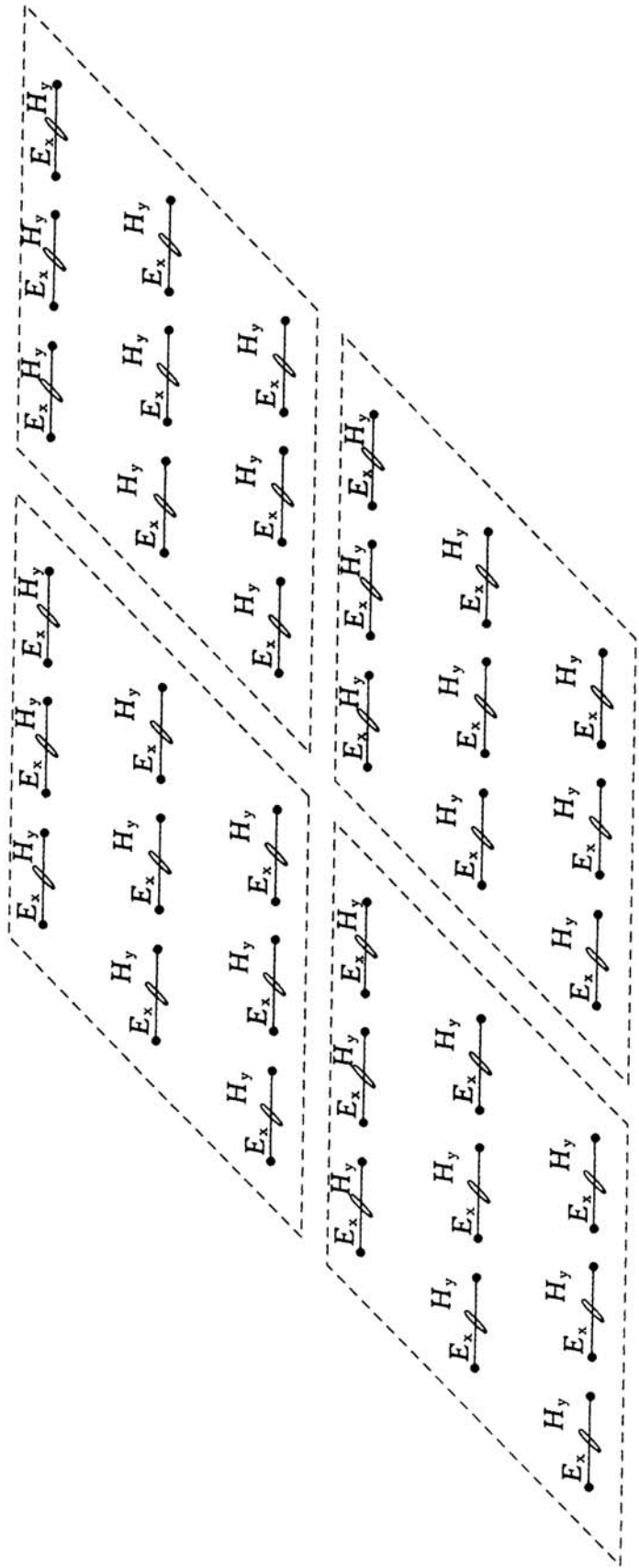


图 5-4 音频大地电磁测深小面元三维测试示意图

磁道的全频电位数值，由于天然场变化的随机性，测深点的电阻率曲线和相位曲线的偏差较可控源大些，所以，实际工作中一般采用增加叠加次数和多次重复观测的方式来提高和评价数据采集的质量。

5.3.5 重复观测是天然源大地电磁现场测试的一个显著特点，一般情况下，一条测线的重复观测达到 100% 的情况是常见的。当然，评价一条测线的质量可以使用一条测线上重复观测的均方误差来评价。

5.3.6 相对误差的计算是对一个测深点曲线上的每个频点进行，每个测深点的平均误差是利用其每个频点的相对误差值来计算，一条测线或测区的总均方相对误差是使用全部检查点的平均相对误差来计算。

5.4 瞬变电磁法

5.4.1 影响瞬变电磁探测的现场条件主要是地表植被和阻碍物，由于该方法不需要接地，当现场植被和阻碍物对布线影响较少时，现场测试效率高，现场测线布置尽可能点密、面广。该方法和大地电磁方法一样，用于矿产勘探较多，测线点距一般布置较大，但在工程探测中，多采用小点距测，以保证探测质量。

5.4.2 瞬变电磁是利用回线电路向地下以一定频率发射电磁脉冲，地下导电地质体在脉冲电磁场激励下产生感应涡流，涡流大小取决于地质体导电程度，随后在空间形成二次瞬变电磁场，当发射回线断电后，一次场随即消失，但二次场并不会立即消失，它将持续一个衰退过程，其衰减时间长短和强度与地质体大小、深浅、导电性强弱相关，体积大、埋深浅、导电性好，二次场持续时间长、强度大，反之就弱。二次场可以被布置在地面的接收回线测试到，通过对二次场的分析计算就可以分析解释出地下地质体的相关物理参数和分布，其原理如图 5-5 所示。

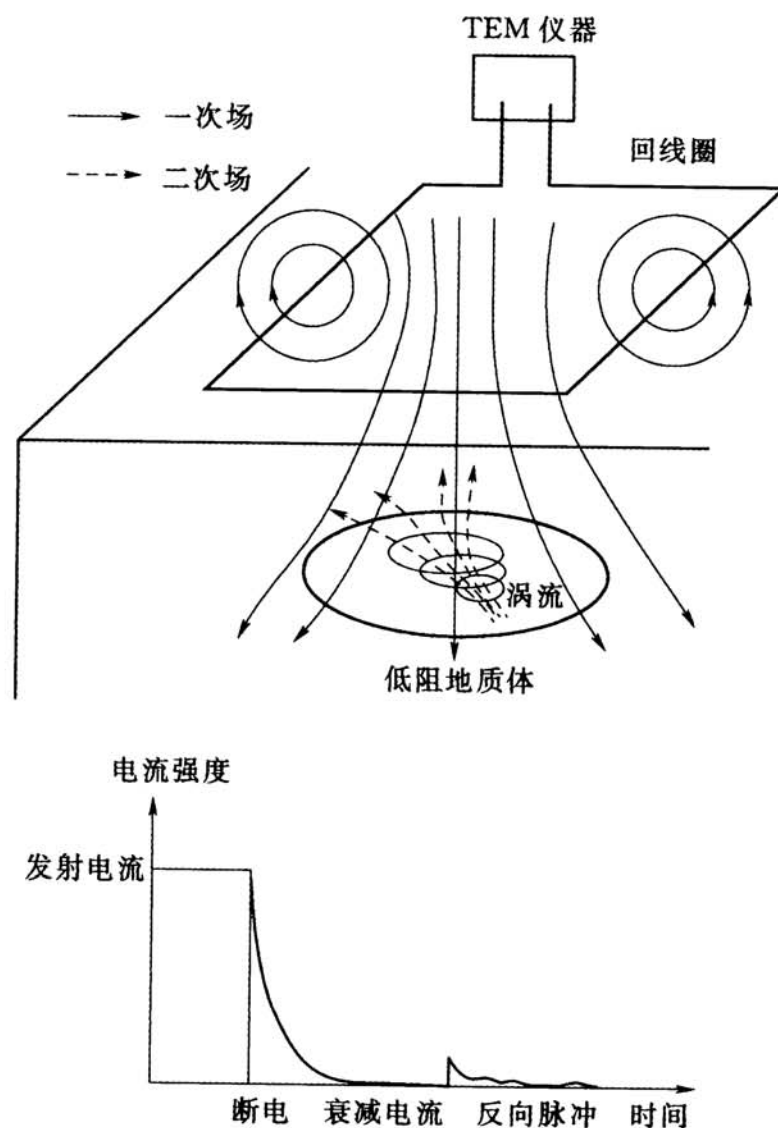


图 5-5 瞬变电磁工作原理示意图

瞬变电磁法一般进行点测深，也可进行剖面测试，按场源不同可分为磁性源和电性源两类，按收发线圈不同排列又可分为重叠回线、中心回线、偶极—偶极、大定源回线等装置，近年还发展出线框发射、中心磁探头接收的新装置，各装置如图 5-6 所示。

5.4.3 瞬变电磁探测深度当前都引用国外学者提出的磁矩理论，而磁矩是依据一定电流下，线框边长越大磁矩越强，探测越深，地矿的瞬变电磁法规程也是依据于此，这就是附录 C 中式

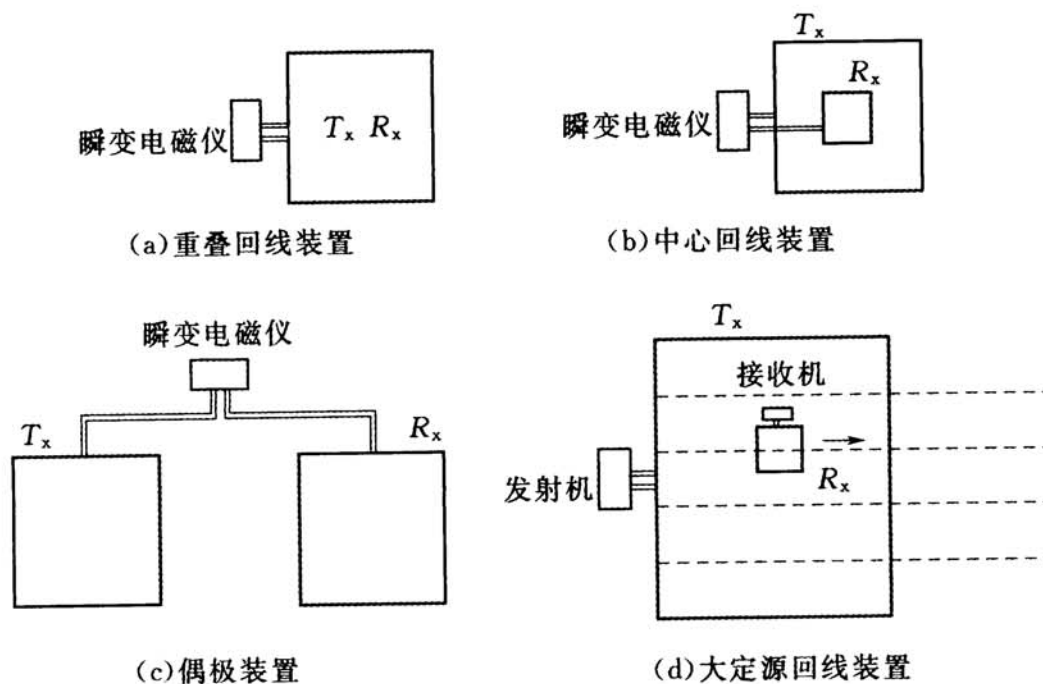


图 5-6 瞬变电磁装置示意图

(C.0.6) 的来源, 该式主要存在如下不足: 式中没有时间参数, 也没有脉冲波形参数, 对它的普遍性提出疑议。随着现代电子技术的发展, 大电流发射已被大多数仪器所采用, 提高磁矩并不只有增大线框边长一种方法, 同时, 近年的研究表明, 加大双向脉冲电流的周期, 降低频率是测深的主要措施, 但对于中小型瞬变电磁仪这种技术措施非常困难。

5.4.4 瞬变电磁现场采集的主要是接收回线中各个时间点测得的感应电压值, 其他的一些参数都是以这个参数为原始变量, 另加时间、发射、线框尺寸等变量计算出的间接参数。

5.4.5 相对于其他方法而言, 瞬变电磁法的重复观测相当频繁, 主要是由于其布线相对麻烦, 而测试相对方便, 为了保证测试质量, 一般每点都进行多次重复观测。

5.4.6 先计算每个检查点各个测道的相对误差, 然后计算一个测点的平均误差, 最后利用各个检查点的平均相对误差计算整条测线或测区的总均方相对误差。

5.5 感应电磁法

5.5.1 感应电磁法目前主要采用多频、多线圈距测试方式，由于仪器具有非接触、自动定位、多参数和自动成图功能，现场测试方便，工作效率高；同时，感应电磁法主要布置成测网进行地下构筑物、场地环境污染和浅表地质调查，测网布置有利于详细查清地下构筑物、洞溶、污染范围的详细分布情况。管线仪主要采用信号追踪方式进行管走向追踪探测方式。

5.5.2 目前 GEM 感应电磁法仪器采用多频和多线圈距工作方式，这种工作方式下可以发现地下金属管网、下水道、未爆物等地下埋藏物，也可进行地下断层、溶洞、污染土层的调查。管线仪主要采用工频、信号加载两种方式进行工作。

5.5.3 现场 GEM 仪器主要采用人体背负式操作，所以应注意人体随身金属用品的干扰。采用 GNSS 定位测试时，点位精度主要取决于 GNSS 定位精度，城区工作时，GNSS 精度主要受建筑物影响。

5.5.4 进行地质或管线盲探测时，一般进行面积性二维探测，每条测线都是进行连续观测，在这种情况下，重复观测等同于检查观测。

5.5.5 误差计算应先分别计算各检查点的平均误差，最后计算测线或测区的总均方相对误差。当进行整条测线连续检查观测时，可直接计算两条曲线的平均相对误差。

6 数据处理和资料解释

6.1 一般规定

6.1.1 本条规定主要是内业资料整理前，对提交有关项目原始资料、记录进行检查验收的规定。

6.1.2 本规程涉及的四种电磁法测试的数据基本都是集合点数据，无论是一个测深点，还是一条测线，其初步数据都涉及平滑处理问题，本条规定就是对每个测深点集合数据预处理的原则规定。

6.1.3 定性解释是电磁法的主要内容，当地质条件复杂时，只能用定性解释。

6.1.4 本条规定了定性解释的内容和要求。

6.1.5 定量解释和反演都有一定的边界条件，这些参数和模型都来源于定性解释。

6.1.6 定量解释方法事先都假设了一定的数学模型和过程参数，定量解释和反演过程就是一个试错过程，所以，应根据地质模型进行多种情况下的试错计算和反演，找出最符合真实地质情况的数理模型。

6.1.7 本条规定了定量解释的内容和要求。

6.1.8 本条规定了电磁法成果图件。

6.2 可控源音频和音频大地电磁测深法

6.2.1 本条规定了可控源和音频大地电磁测深法数据预处理的一般方法，为后续处理做准备。

6.2.2 大地电磁测深由于地下介质的各向异性，测试电或磁场方向与地质体交角不同会产生不同的极化效果，TE、TM极化

模式的不同，视电阻率曲线存在差异，不同模式会有不同解释。TE 模式有很好的纵向分辨率，但横向分辨率不足，TM 则相反。对于山脊地区，TM 模式视电阻率曲线总是在 TE 模式上方，而山谷地区正好相反。所以，在山脊和山谷地段，TM 模式要比 TE 模式反应灵敏，能较好地反映真实模型。对于断层地段，TE 模式比 TM 模式灵敏，TE 模式视电阻率曲线的低频段逐渐下移到 TM 模式下方，两者形成喇叭状。

当地表呈现局部电性不均匀时，会产生静态效应，影响 TM 模式的视电阻率曲线，TE 模式影响较小，TM 模式相位曲线基本不受静态位移影响，而 TE 模式相位曲线有明显的静态效应，但其受影响程度较低。在实际工作中，大多数情况下，TE 模式电阻率曲线受静态位移影响一样严重，这主要是二维模型与三维真实地质构造间存在的差异，TE 模式对浅层低阻体反映好于 TM 模式。

6.2.3 可控源大地电磁测深在每个测深点测试的视电阻率曲线，沿走向的纵向极化的曲线为 TE 极化，沿倾向的横向极化的为 TM 极化。TE、TM 之间的差异主要是地下构造的不均匀性造成的，研究表明，横向视电阻率主要反应浅部电性分布，而纵向视电阻率能较好地反映深部地质体的视电阻率分布特征，所以，识别曲线的极化模式有助于解释工作。

6.2.4 静位移效应主要是因为在外部电场作用下，浅部三维异常体与区域构造介质的界面上会产生积累电荷，积累电荷的电场使得正常的感应电场发生畸变，但对正常的感应磁场影响却非常小。若用畸变后的电场计算视电阻率，计算视电阻率在频率域双对数坐标系中，相对于正常场视电阻率曲线会在模值坐标方向上发生平移，但曲线形态保持不变，同时，频率域的相位曲线不受影响。静位移校正是 AMT 数据处理中要解决却很难彻底解决的问题。研究者们针对不同的实际应用情况提出了很多切实可行的校正方法，如曲线平移法、各种空间滤波法、联合 TEM 进行校

正等方法。虽然每种校正方法都具有一定的实用性，但用单个测深点的数据进行静校正的仍有待研究。

6.2.5 可控源大地电磁野外测试时，发送机和接收机之间的距离是受到发射功率的限制的。一般说来，收发距较大时，平面波假设就成立，但信号较弱；收发距较小时，信号较强，但平面波假设就不成立。平面波的近似性主要是与收发距相对应的趋肤深度大小有关，趋肤深度大小主要取决于大地电阻率和工作频率。小于趋肤深度的区域称为近区场。在远区场可以将场源看作垂直入射的平面电磁波，但由于受地形、地电条件的限制，实际工作中近场和远场的界线分辨不是太清，但如果某些频率工作在近区和过渡区中，用卡尼亚公式计算视电阻率就会引起畸变，使得视电阻率在低频段以近乎 45° 直线上升，而不是趋于下伏岩层电阻率。相位曲线趋向于 0° ，不再是 AMT 中的 45° ，此时，曲线不能直接采用 AMT 方法进行解释。这种现象称为近场效应。

6.2.6 本条是对进行了重复观测或检查观测的数据如何取舍的规定。

6.2.7 大地电磁的定性解释主要是视电阻率测深曲线和相位曲线的类型分析，对应电性层的相对关系。

6.2.8 当前大地电磁测深的定量解释基本采用二维反演软件进行，作三维反演的较少。二维反演中异常边界划分和深度标定还需要丰富的工作经验和现场钻孔的电测井资料。

6.2.9 一般情况下，解释和反演处理要反复进行多次，称交互式解释和反演处理。地质解译时，应先由地质人员沿测线切出推测的地质剖面，将其与物探剖面进行互相关解释，当测区地层呈现明显的电性各向异性时，电磁场张量测量分析解释很有必要。三维模型主要考虑探测目标体的追踪、分布范围的定量解释，对一些较具体的探测目标体，如断层、暗河溶洞、下伏基岩顶板深度等，通过互相关解释，推测目标体大致的几何参数和深度。

6.2.10 图件主要包括四类，一是现场布置图，二是物探测试成果图（如各测深点电阻率、相位曲线及预处理对比曲线），三是物探反演成果图（如电阻率剖面图），四是依据物探成果解译的地质剖面或平面图。

6.3 瞬变电磁法

6.3.1 资料预处理主要是对瞬变电磁法采集的两个主要参数 V_g 、 τ_t 的预处理，当前技术条件下，一般都是使用仪器自身的软件进行相应的预处理，生成各种剖面曲线，对各种参数的曲线进行定性判断，最后通过反演软件直接反演成视电阻率剖面图。

6.3.2 由于瞬变电磁法有多种装置，每种装置的记录点位置不同，预处理时应将以线圈中心点为记录点的装置坐标校正到实际记录点坐标位置上。

6.3.3 瞬变电磁的预处理和反演软件各个厂家存在较大差异，多功能电法仪的瞬变电磁处理软件功能较少一些，但整体结构较好；单一瞬变电磁功能的仪器，处理软件较复杂一些，但功能模块分化，有些预处理软件具有人机交互功能。瞬变场资料解释和直流电法一样，分两阶段进行，分定性解释和定量解释。定性解释主要通过对原始数据、各种定性图件分析对比，确定异常体的存在和圈定异常体的分布范围。

6.3.4 定量解释是通过典型剖面曲线分析，获取时间常数，计算机模拟及反演处理等方法取得异常体定量参数，如埋深、矿体形态及导电性等。钻孔是反演和验证物探方法的最好手段，可通过目的层比对、电测井获取地层电参数等方法对测区瞬变电磁剖面进行地质解译。

6.3.5 确定异常体形态和埋深是解释的重要内容，异常体形态是通过瞬变场剖面分析而确定的。曲线特征取决于异常体的电性和形态，还和测试装置有关。当给出固定发射移动接收装置获取

的水平、倾斜和直立板状良导体对应的瞬变场剖面曲线时，水平板状良导体，垂直分量曲线为一单峰正对称异常，其极大值与水平板中心位置对应；水平分量以水平板中心位置为中心形成反对称异常。直立板良导体曲线特征恰好与水平板状态时的曲线异常相反。倾斜板对应的曲线垂直和水平分量为非对称异常，其垂直分量曲线正峰点向板倾斜方向移动，而水平分量峰谷对应板状体的顶部位置，如图 6-1 所示。

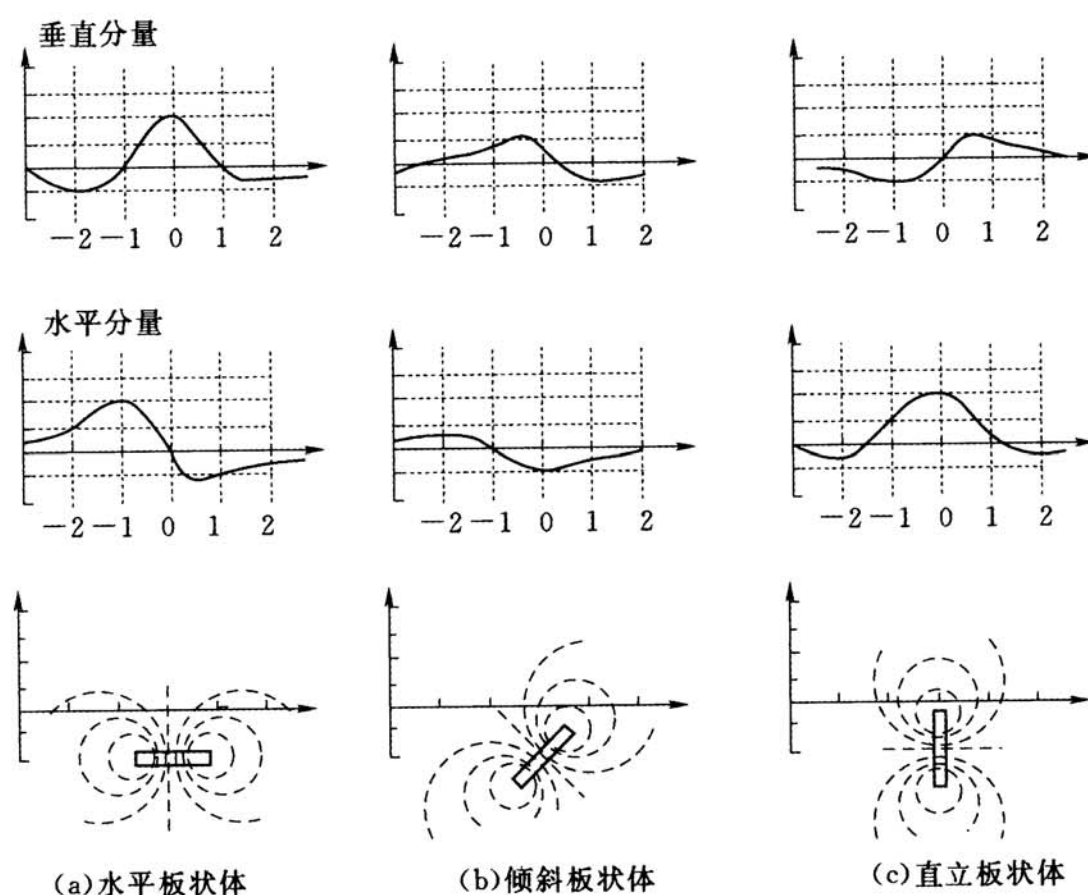


图 6-1 瞬变电磁正演成果示意图

异常体埋深一般可由它对应的典型剖面曲线近似确定：对于对称型异常，其埋深约为异常量大峰值半幅宽度的 $1/2$ ；非对称型或反对称异常，其埋深约等于异常最大值与中间连线长度的 $1/2$ 。

求时间常数也是反演的主要内容，瞬变衰减曲线变化速率的大小取决于异常体的电性好坏和几何形态，其电性和几何形态反映在

它的时间常数上，因此，异常体的时间常数决定瞬变场衰减速率的大小，是确定异常体电性好坏的重要参数。几何形态相同的地质体，导电性越好，其时间常数越大，多数情况下，地质体时间常数可由它对应的瞬变场衰减曲线近似求得，由衰减曲线求时间常数的方法是在衰减曲线晚期时间段上提取两个不同时间道所对应的观测值，由附录 C 中式 (C.0.8) 计算该异常体近似的时间常数。

6.3.6 瞬变电磁场剖面图的绘制：以测点为横轴，观测数据为纵轴，沿测线方向绘出各时间道曲线。横轴采用算术坐标，纵轴采用算术或对数坐标。为便于多道曲线对比和部分道数据变化范围较大时（用对数坐标），可采用对数和算术混合坐标系，其多测道剖面图如图 6-2 所示。瞬变场剖面曲线特点是通过对比多个不同时间道场值异常与地下地质体对应关系显示的。

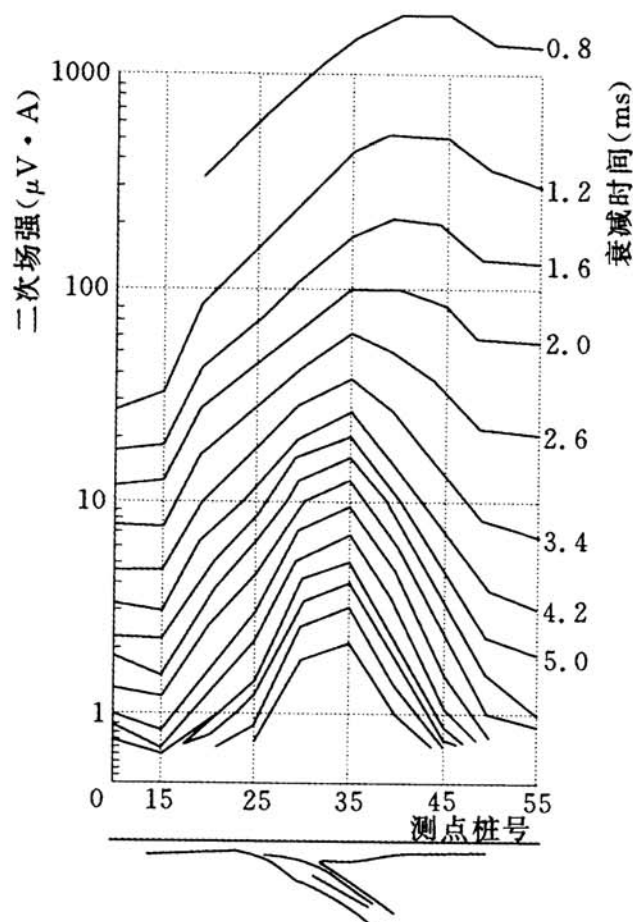


图 6-2 瞬变电磁多测道成果示意图

瞬变场衰减曲线的绘制：横轴代表时间道号，纵轴为观测场值，衰减曲线常绘制在双对数坐标系，也可采用单对数坐标系。为便于不同观测点衰减曲线间对比，实际工作中可将不同观测点衰减曲线绘制在一张图上，如图 6-3 所示。

视电阻率拟断面图绘制：以测点为横轴，时间道号为纵轴，以视电阻率为记录值。拟断面图直观的绘出沿测线地电断面电性变化特征，如图 6-4 所示。

瞬变场等值线平面图绘制：在工程布置图上，将同一时间道的观测值标在对应的测点旁，然后构制瞬变场等值线平面图，由于瞬变场衰减与深度有关，不同时间道对应的等值线平面图反应不同深度瞬变场的变化特征，因此，同一测区应绘制反应不同深度的多个不时间道的平面图，通常绘制早期、中期和晚期三个时

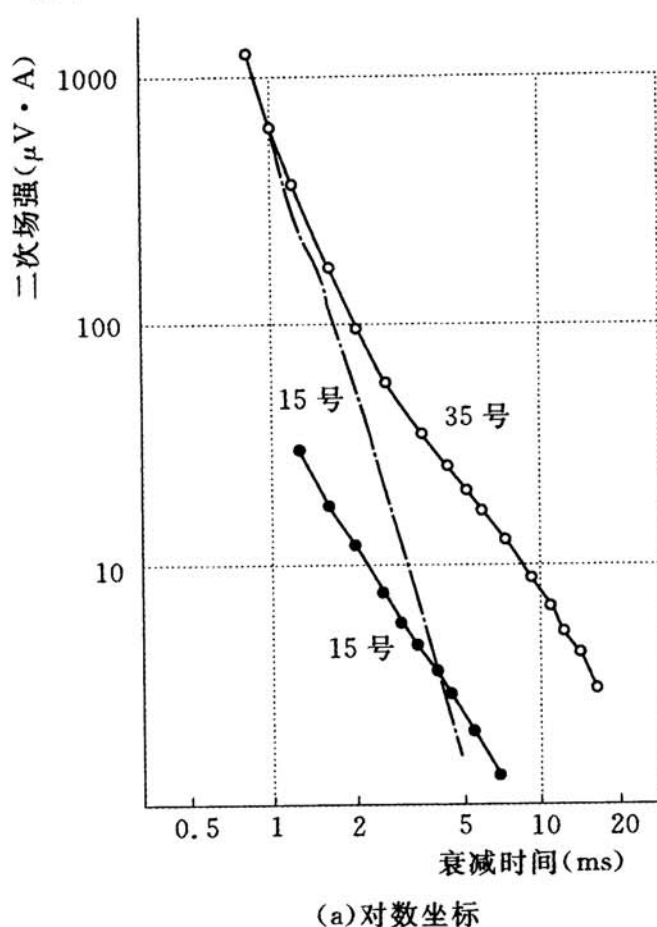


图 6-3 (一) 瞬变电磁场衰减曲线

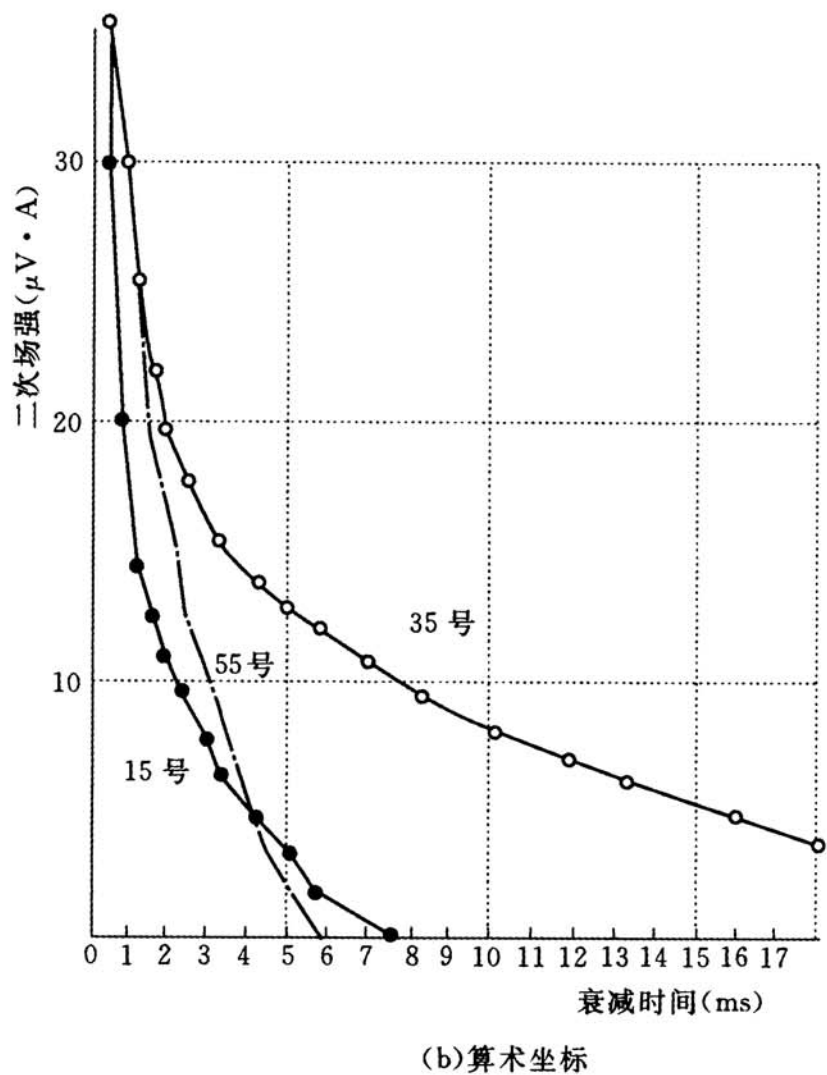


图 6-3 (二) 瞬变电磁场衰减曲线

间道的等值线平面图。

6.4 感应电磁法

6.4.1 Q 、 σ_s 、 ξ_s 值是 GEM 感应电磁仪的主要输出参数。电磁仪勘探深度受到诸多因素的影响，如大地电导率和周围电磁噪声。对于层状构造地质条件，GEM-2 在高阻区 ($>1000\Omega \cdot m$) 可以探测 40m 深度，在高导电区 ($<100\Omega \cdot m$) 可以探测 20m。周围噪声干扰增强，探测深度降低。市区噪声很大，郊区噪声较小，图 6-5 为趋肤深度与导电率、频率、深度关系图。

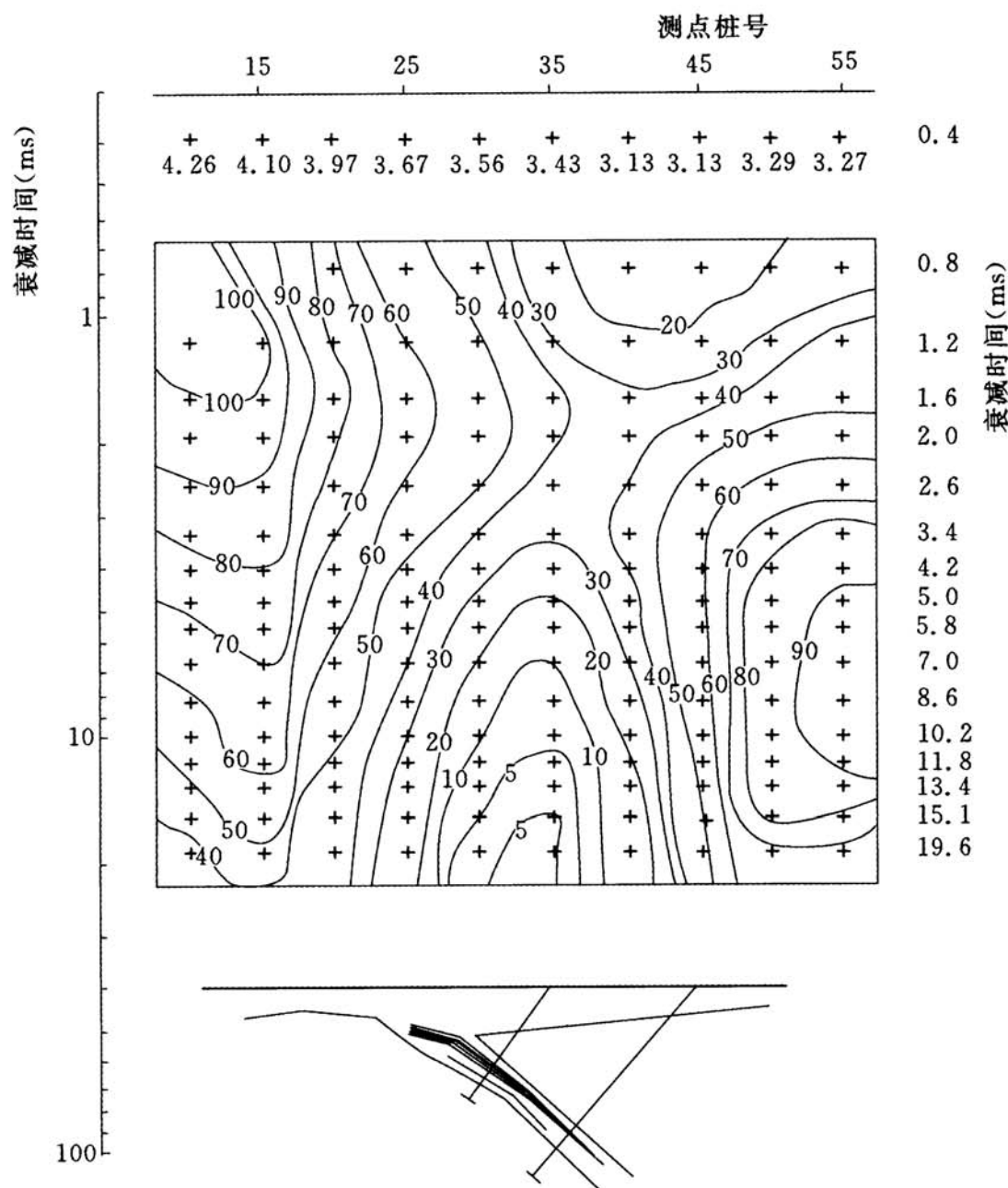


图 6-4 瞬变电磁视电阻率拟断面图

6.4.2 确定测区背景值和异常值范围是电磁法勘探成果解释和地质解译的重要工作，当测网和测线较大时，可分区和分段确定背景值和异常值范围，异常的描述也有多种，包括绝对异常值、相对异常、异常梯度等。

6.4.3 GEM 感应电磁仪可以直接输出各种单频和线圈距下的

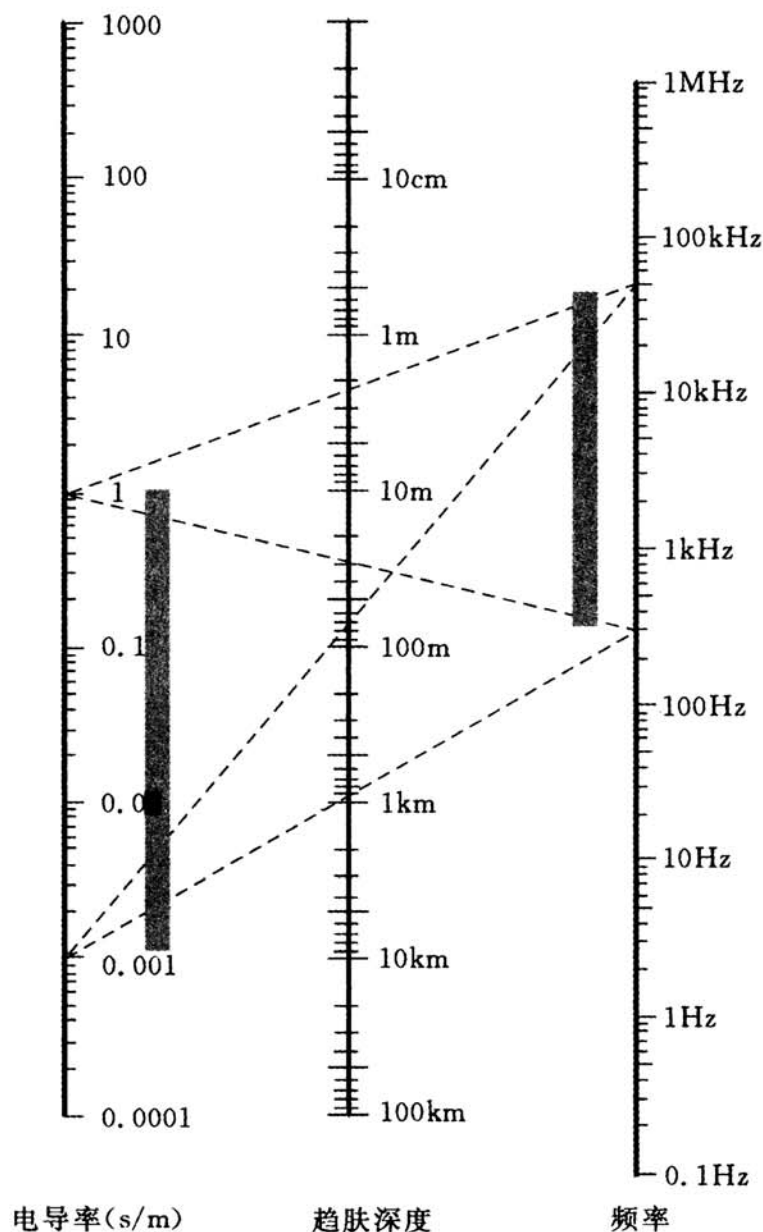


图 6-5 趋肤深度与导电率、频率、深度关系图

Q 、 σ_s 、 ξ_s 值， σ_s 、 ξ_s 值是通过 Q 、线圈面积、线圈距、发射电磁波频率等参数计算得出的视参数，一般是根据相对异常划分出异常分布范围，再根据梯度异常进行分析解释和地质解译。

6.4.4 多频测试的曲线一般都绘制在一张图上，如图 6-6 所示。测网一般先绘制平剖面图，如图 6-7 所示，最终绘制成二维或三维成果图。

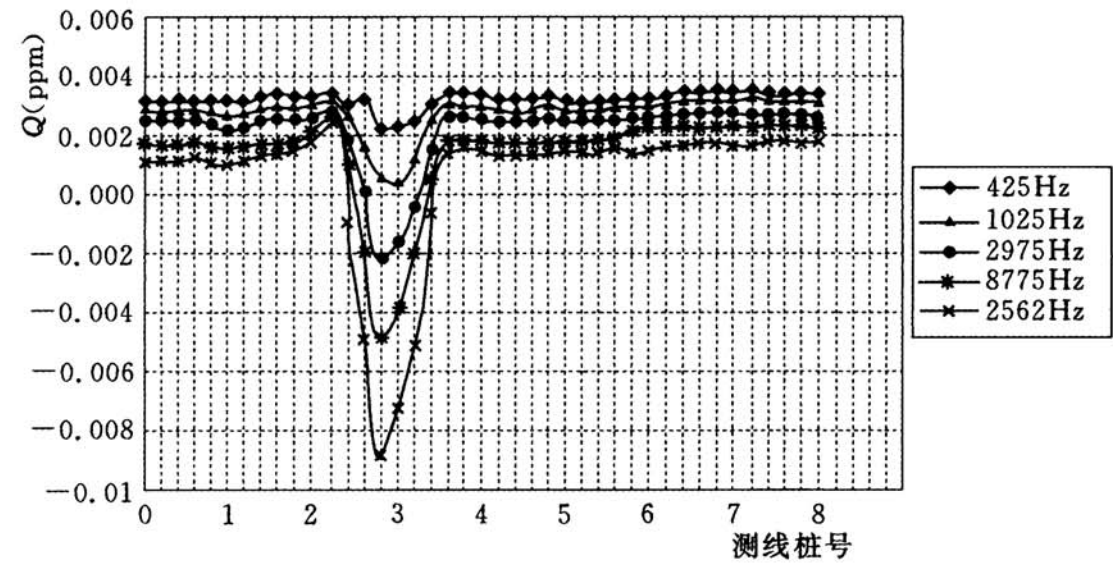


图 6-6 不同频率下的 Q 曲线剖面图

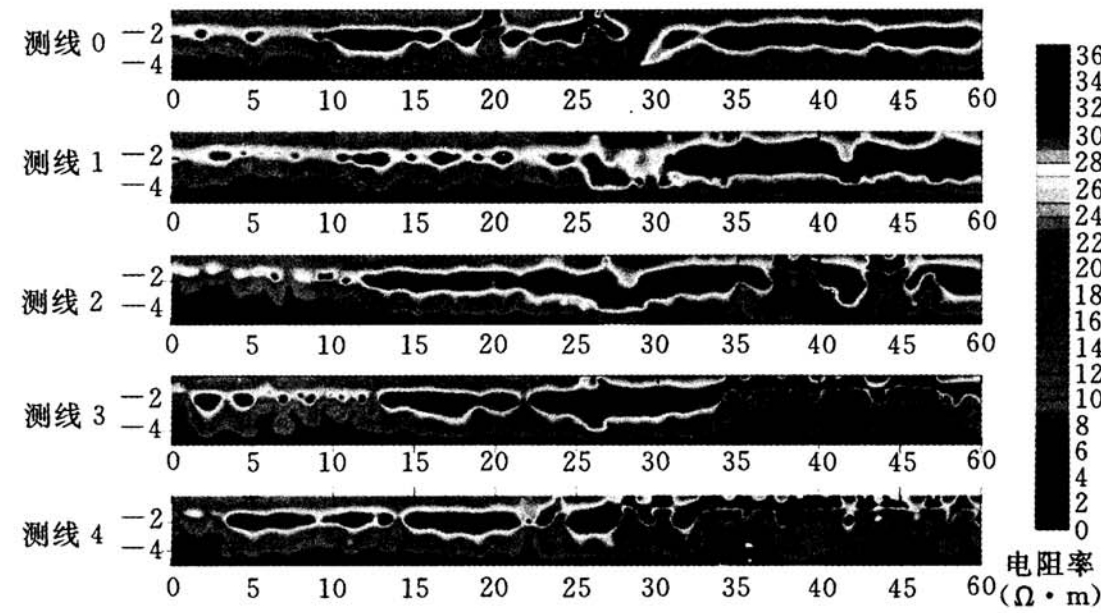


图 6-7 感应电磁法平剖面图