ICS 75.180.10
E 11
备案号：22068—2007

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6688—2007

时频电磁法勘探技术规程

Technical specifications for time－frequency electromagnetic method

2007－10－08 发布　　2008－03－01 实施

国家发展和改革委员会　　发 布

目　　次

前言 …… Ⅱ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　缩略语 …… 1
4　方法功能及应用条件 …… 1
5　技术设计 …… 1
6　野外工作 …… 4
7　野外资料验收 …… 6
8　室内资料处理与解释 …… 7
9　成果报告 …… 8
附录 A（规范性附录）　野外工作班报格式 …… 9
附录 B（资料性附录）　统计表格式 …… 12

前　言

本标准的附录 A 为规范性附录，附录 B 为资料性附录。

本标准由石油物探专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司综合物化探事业部。

本标准起草人：何展翔、黄洲、董卫斌。

时频电磁法勘探技术规程

1 范围

本标准规定了时频电磁法（TFEM）方法功能及应用条件、技术设计、野外工作、野外资料验收和室内资料处理与解释等工作的基本要求。

本标准适用于陆上油气时频电磁法（TFEM）勘探。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

SY/T 5171　石油物探测量规范

SY/T 5930　大地电磁测深仪使用与维护

SY/T 6055　石油重力、磁力、电法、地球化学勘探图件

3 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

TFEM　time－frequency electromagnetic method

时频电磁法。

4 方法功能及应用条件

4.1 方法功能

4.1.1 研究构造形态、断裂性质及展布特征。

4.1.2 圈定已知构造圈闭或岩性圈闭的含油气有利范围。

4.1.3 在探测区内评价已知油气藏的边界并预测其周边的含油气范围。

4.2 应用条件

4.2.1 目标地质体与围岩存在明显的电性差异。

4.2.2 探测目标所引起的异常能够观测到并且被提取出来。

4.2.3 电磁噪声和人文干扰因素不会产生难以控制的影响。

5 技术设计

5.1 设计前准备工作

5.1.1 收集的主要资料包括：

——地质资料；

——地层、岩石等物性资料；

——钻井和测井资料；

——物探资料；

——测绘资料；

——自然、人文、经济及地理资料；

——其他。

5.1.2 测区踏勘：了解施工条件（地形、交通、人文、气候等），调查电磁干扰源及其特征。

5.2 参数设计

5.2.1 根据收集的地质、地球物理资料，建立测区地电模型，进行正演计算，设计激发频段范围和采集时间长度。

5.2.2 观测参数设计：

a）最小方波周期由最小探测深度和这一深度以上的总纵向电导确定，见式（1）：

$$T_{min} = 2\mu \cdot H_{min} \cdot S_{min} \quad \cdots\cdots (1)$$

式中：

S_{min}——观测剖面上的最小研究深度的总纵向电导，单位为西［门子］（S）；

H_{min}——最小研究深度，单位为米（m）。

b）最大方波周期由最大研究深度及以上的总纵向电导确定，见式（2）：

$$T_{max} = 2\mu \cdot H_{max} \cdot S_{max} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中：

S_{max}——观测剖面上的最大研究深度以上的总纵向电导，单位为西［门子］（S）；

H_{max}——最大研究深度，单位为米（m）。

c）设计的频段范围应包括依据式（1）和式（2）计算的方波周期，设计的频率值应在该频段范围内均匀分布。

5.3 测网设计

5.3.1 设计测网的原则：观测区受发射源 A，B 两接地点处的辐射线限制，辐射线相对于发射源的夹角为 105°（见图 1）。

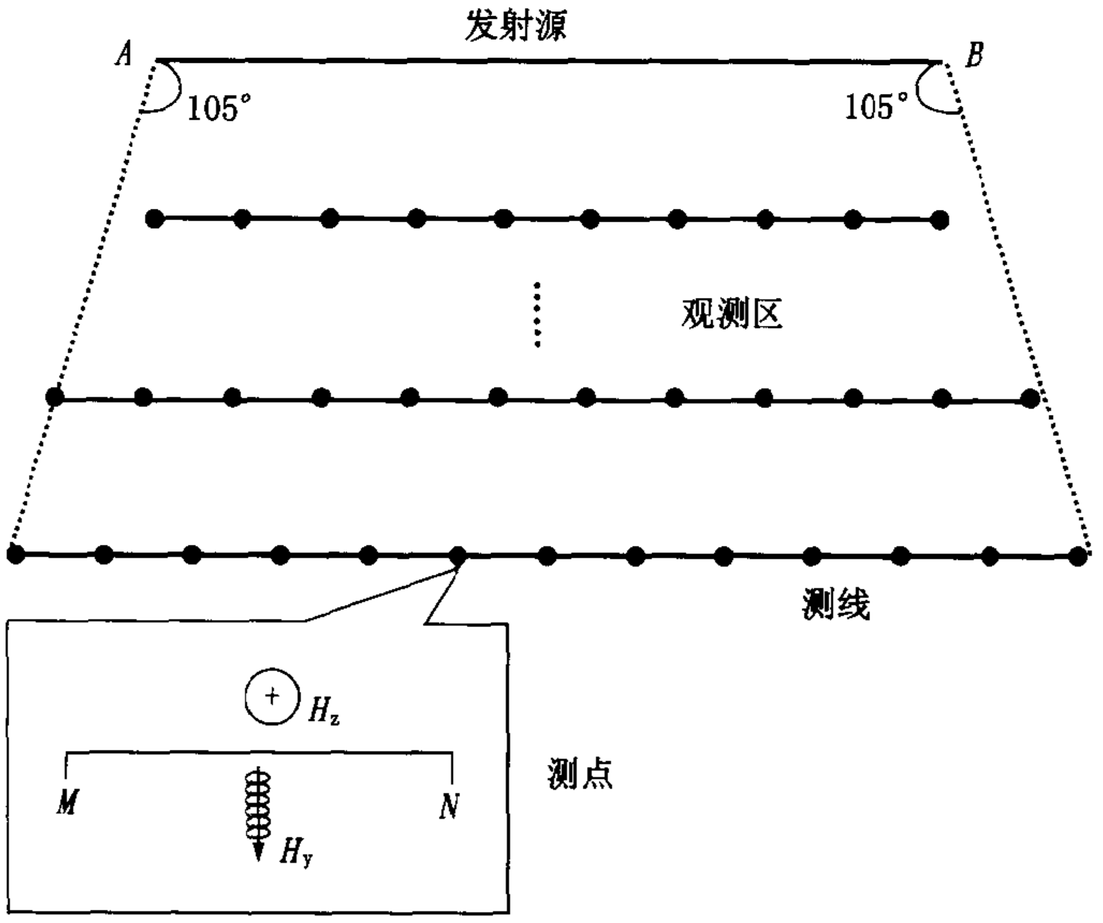


图 1 时频电磁法观测范围及测点布设示意图

5.3.2 测线离发射源的最小距离根据式（3）估算：

$$y_{min} \geqslant 0.003 S_{min} \cdot H_{min}^4 \cdot \frac{V_{min}}{I \cdot AB \cdot q} \quad \cdots\cdots (3)$$

式中：

y_{min}——测线离发射源的最小距离，单位为米（m）；

V_{min}——观测信号的最小有效值，单位为毫伏（mV）；

I——供电电流，单位为安［培］（A）；

AB——两供电极之间的距离，单位为米（m）；

q——磁棒或线圈的有效面积，单位为平方米（m^2）。

5.3.3 测线离供电源的最大距离根据式（4）估算：

$$y_{max} \leqslant 2S_{max}\left(\frac{AB \cdot I \cdot q}{V_{min}} \cdot \rho_\tau\right)^{1/4} \qquad \cdots\cdots (4)$$

式中：

y_{max}——测线离供电源的最大距离，单位为米（m）；

ρ_τ——观测剖面上平均电阻率值，单位为欧［姆］米（Ω·m）。

5.3.4 二维勘探，线点距选择宜见表1。

表1 二维勘探线点密度表

比例尺	线点距 m	
	测线距	测点距
1∶25000	500	50～100
1∶50000	1000	100～200
1∶100000	2000	200～500

5.3.5 三维勘探，线点距选择宜见表2。

表2 三维勘探测网密度表

比例尺	线点距 m	
	测线距	测点距
1∶10000	100～200	25～50
1∶25000	250～500	50～100

5.3.6 主测线宜垂直于主构造走向布置。

5.3.7 设计测线宜与研究区内已知物探测线重合，测点宜与已有的钻孔靠近。

5.3.8 设计测线宜避开城镇、密集的居民点及严重干扰源。

5.4 设计书

5.4.1 主要内容包括：

a）地质任务和工作量；

b）测区地理、地质概况及地层和岩石物性特征；

c）测线和测点布设；

d）野外施工方法及技术要求；

e）资料处理解释工作；

f）队伍组织、仪器配备及进度安排；

g）完成任务的措施；

h）其他。

5.4.2 主要图件应包括：

a）工区位置；

b）测线设计。

6 野外工作

6.1 仪器准备和测试

道间一致性测定：在施工区内选择固定点，于施工前、后进行道间一致性测定，经归一化处理后振幅和相位的均方相对误差 m_j 的绝对值均应不大于 2%。

m_j 根据式（5）、式（6）计算：

$$m_j = \pm \sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\overline{A}_i - A_{ij}}{\overline{A}_i}\right)^2} \times 100\% \quad \cdots\cdots (5)$$

$$\overline{A}_i = \frac{1}{C}\sum_{j=1}^{C} A_{ij} \quad \cdots\cdots (6)$$

式中：

m_j——一致性测定均方相对误差；

n——仪器观测频点数，单位为个；

C——投入施工仪器道数，单位为道；

A_{ij}——仪器第 j 道第 i 个频点的振幅或相位，单位为毫伏或毫弧度（mV 或 mrad）；

$\overline{A}_i$——所有仪器第 i 个频点的振幅或相位平均值，单位为毫伏或毫弧度（mV 或 mrad）。

6.2 发射源布设

6.2.1 发射源应布设在构造简单、电性比较均匀的地方，宜使研究对象处于观测区域的中心位置。

6.2.2 测区不能由一个发射源覆盖时，同一测线在变换发射源时至少应有两个点的重复观测。

6.2.3 发射源电源线绝缘电阻应大于 5MΩ，发射源 AB 接地电阻宜小于 20Ω，在干旱地区可采用多根电极并联、挖深坑、填粘土、浇盐水等方法降低接地电阻。

6.3 测线、测点布设

6.3.1 实际测线允许在设计测线距 10%范围内调整，施工困难地区可在 20%范围内调整。

6.3.2 施工中如所获资料表明原设计的测线长度不足以完成地质任务时，应延长测线。

6.3.3 测点不应选在山顶、狭窄的深沟、岩石裸露区或电磁干扰源附近。

6.3.4 测点不宜布设在明显的局部电性不均匀体上。

6.3.5 测点宜避开干扰源的距离见表 3。

表 3 测点与干扰源的距离

序 号	干扰源类型	测点避开距离 m
1	工厂、矿山、电气铁路、变电所	≥2000
2	广播电台、雷达站、通信基站等	≥1000
3	高压电力线	≥500
4	繁忙的公路、钻井平台	≥200

6.3.6 测点平面坐标和高程应实测。

6.3.7 测点处应埋设木桩，桩上标明测点的线点编号和施工单位。

6.4 观测装置及布设

6.4.1 观测分量可为电场水平分量 E_x、磁场水平分量 H_y 或磁场垂直分量 H_z，各分量以排列方式沿

测线多道观测。

6.4.2 按设计规定的电偶极距布极，电偶极距及方位应实测，极距误差应小于1%，方位误差应小于1°。

6.4.3 测量电极应采用不极化电极，电极接地电阻应不大于2kΩ。在沙漠、戈壁、高阻岩石出露区，宜采用多电极并联、电极四周垫土等措施降低接地电阻。

6.4.4 电极埋入土中应不小于30cm，保持与土壤接触良好，两电极埋置条件要求相同，不应把电极埋在树根处、流水旁、繁忙的公路边，同时应避免埋设在沟、坎处，且两极相对高差与极距之比应小于10%；地形复杂区，也不应大于20%。

6.4.5 水平磁棒方位偏差和水平度偏差均应不大于1°，埋深应不小于30cm。水平磁棒埋置后需用土压实，保证磁棒与土壤接触良好、稳定。

6.4.6 垂直磁棒入土深度应大于磁棒长度的2/3，露出地面部分用土压实，且磁棒水泡居中。

6.4.7 电极、磁棒连线、接入仪器或前放盒的电缆均不应悬空或并行放置，需压实或掩埋，防止晃动。

6.4.8 各信号线的绝缘电阻应大于2MΩ。

6.5 数据采集

6.5.1 数据采集前应检查的内容有：

a) 仪器与传输线连接是否牢固；

b) 按仪器操作说明书进行各项测试；

c) 记录头段参数应齐全正确；

d) 进行背景场采集，以观测各道的干扰情况，并进行试采集，以观测各道的信号幅值大小。

6.5.2 数据采集：同一排列的数据应按设计频率扫频观测，分别采集激发电流数据和测点观测数据。

6.5.3 每次采集结束，操作员应及时回放记录数据，显示信号随收发距变化的振幅曲线，初步衡量发射、接收的记录质量，出现问题及时查找原因并重新采集。

6.5.4 测点布极员和操作员应现场填写接收布极班报及操作记录表，格式见附录A的表A.1、表A.2。

6.5.5 发射源布极员和操作员应现场填写发射源布极班报和发射源操作记录表，格式见附录A的表A.3、表A.4。

6.5.6 数据采集完成，激发电流数据和测点观测数据应制作备份保存并及时转交室内处理组。

6.6 检查点

6.6.1 检查点是不同时间、不同采集站的重复测点。检查点应选在干扰背景平静的地区。

6.6.2 应在测区平面上和时间上分布均匀。

6.6.3 检查点不得少于测点数的3%。

6.6.4 检查观测点与原观测点的全频段振幅曲线和相位曲线，要求形态一致、对应频点的数值接近，经归一化处理后的振幅和相位的均方相对误差 m 的绝对值均应不大于5%，并编制误差统计表。均方相对误差 $\overline{m}$ 根据式（7）、式（8）计算：

$$\overline{m} = \pm \sqrt{\frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{A_i' - A_i}{\overline{A}_i}\right)^2} \times 100\% \qquad \cdots\cdots (7)$$

$$\overline{A}_i = (A_i' + A_i)/2 \qquad \cdots\cdots (8)$$

式中：

$\overline{m}$——检查点均方相对误差，用百分数表示；

n——仪器观测频点数，单位为个；

A_i——检查观测时第 i 个频点的振幅或相位，单位为毫伏或毫弧度（mV或mrad）；

A_i'——原观测时第 i 个频点的振幅或相位，单位为毫伏或毫弧度（mV或mrad）；

$\overline{A}_i$——第 i 个频点的振幅或相位的平均值，单位为毫伏或毫弧度（mV 或 mrad）。

6.7 资料质量评价

6.7.1 全频段振幅曲线和相位曲线的质量评价分为：

a) Ⅰ级：85%以上频点的数据连续性好，能唯一确定曲线；

b) Ⅱ级：75%以上频点的数据，没有三个以上的连续畸变频点；

c) Ⅲ级（不合格）：数据点分散，不能满足Ⅱ级的要求。

6.7.2 每个测点的振幅（A）曲线和相位（φ）曲线应分别评定，并对两条曲线按级登记，格式参见附录 B 的表 B.1，对Ⅲ级曲线应注明不合格原因。

6.7.3 测点质量评价分为：

a) Ⅰ级：一个测点的振幅曲线和相位曲线全部为Ⅰ级；

b) Ⅱ级：一个测点的振幅曲线和相位曲线均为Ⅱ级以上；

c) Ⅲ级（不合格）：不满足Ⅱ级要求。

6.8 野外工程质量评价

测点质量评价Ⅲ级品率不超过 2%，视为野外工程质量合格。

6.9 仪器的使用与维护

执行 SY/T 5930 的规定。

6.10 测量工作

执行 SY/T 5171 的规定。

7 野外资料验收

7.1 原始资料

应包括：

a) 原始数据；

b) 仪器测试记录；

c) 布极班报及操作记录表。

7.2 现场处理资料

主要包括：

——实际材料图；

——全频段振幅（A）和相位（φ）曲线。

7.3 统计表

主要包括：

——磁探头标定误差统计表；

——仪器一致性误差统计表

——检查点误差统计表；

——物理点振幅曲线、相位曲线及物理点质量评定表，参见附录 B 的表 B.1；

——生产时效统计表，参见附录 B 的表 B.2。

7.4 初步处理成果

主要包括：

——层电阻率异常图；

——极化相位差异常图；

——场分量异常图；

——深度—电阻率断面图。

7.5 测量资料

应包括：

a）点位测量记录；

b）检查点误差统计表。

7.6 野外生产工作总结报告

内容主要有：

a）任务来源、地质任务、工区位置、工作量；

b）任务完成情况；

c）仪器测试、使用情况；

d）方法技术及质量情况；

e）质量保证措施；

f）初步成果分析；

g）其他。

8 室内资料处理与解释

8.1 时间域资料处理和解释

8.1.1 叠前处理：根据信号特征分析，压制干扰，剔除坏道。

8.1.2 叠加处理：对多个周期的信号进行叠加，得到光滑的时间域叠加曲线。

8.1.3 叠后处理：进行平滑滤波、反褶积等处理，计算得到电导、电阻率等参数。

8.1.4 根据处理结果进行异常场的求取，得到异常场。

8.1.5 对异常场进行各种滤波、求导处理，形成时间剖面。

8.1.6 根据已知的测井、地震等资料，分析测区电性相对变化规律。

8.1.7 了解剖面地质结构，建立剖面地电地质模型，对井旁剖面进行定量标定，确定深度标定的系数，得到深度剖面。

8.1.8 根据得到的深度剖面开展地质解释。

8.2 时间域提交的图件

——电导和电阻率剖面图；

——深度—电阻率断面图；

——地质、地理物理综合解释剖面图；

——断裂展布图；

——构造图。

8.3 频率域资料处理和解释

8.3.1 对激发电流和采集记录进行以下处理：

a）对曲线进行去噪和叠加处理；

b）对叠加后的周期信号进行谱分析，将不同的频率资料组成总频谱。

8.3.2 利用激发电流对采集记录数据进行归一化处理。

8.3.3 计算相关电性参数和极化参数，并去除奇异点，进行滤波处理。

8.3.4 提取各测线电阻率异常信息，绘制电阻率异常剖面图件。

8.3.5 提取各测线极化异常信息，绘制极化异常剖面图件。

8.3.6 提取极化相位差、层电阻率等异常，绘制平面图。

8.3.7 根据已知的测井、地质、地震资料，分析各参数异常的变化规律。

8.3.8 定性判断异常的性质，进行定性解释。

8.3.9 利用已知资料进行标定，结合各参数剖面和平面异常，进行定量解释。

8.4 频率域提交的图件

——层电阻率异常图；

——极化相位差异常图；

——目的层含油气有利区预测平面图。

8.5 图件的制作

执行 SY/T 6055 的规定。

9 成果报告

9.1 正文

主要包括：

a）地质任务及任务完成情况；

b）工区位置、概况、以往工作程度及主要研究成果；

c）测区地质及地球物理特征；

d）野外工作方法技术及质量情况；

e）资料处理及解释；

f）地质—地球物理综合解释；

g）结论与建议。

9.2 附图

主要包括：

——定性解释图件；

——地质解释推断图件；

——综合对比图件；

——其他。

9.3 附件

需要说明的材料。

附　录　A
（规范性附录）
野外工作班报格式

A.1　时频电磁法勘探记录班报封面格式

时频电磁法勘探记录班报封面格式见图 A.1。

时频电磁法勘探记录班报

地　　区：_____
项目名称：_____
起止时间：_____
施工单位：_____
单位负责：_____
技术负责：_____

年　　月　　日

图 A.1　时频电磁法勘探记录班报封面格式

A.2 时频电磁法接收布极班报及操作记录表格式

时频电磁法接收布极班报及操作记录表格式见表 A.1、表 A.2。

表 A.1 时频电磁法接收布极班报

日期： 测线号： 排列号： 场源号：

点号	采集站	道号	电极电阻 Ω	磁棒号	漂移值 mV

布极员： 记录员：

表 A.2 操作记录表

日期： 测线号： 排列号： 场源号：

周期 ms	脉冲对	文件名

A.3 时频电磁法发射源布极班报格式

时频电磁法发射源布极班报格式见表 A.3。

表 A.3 时频电磁法发射源布极班报

工区： 日期： 场源：A _ B _

A 坐标（54）	X		B 坐标（54）	X	
	Y			Y	
方位角 (°)			接地电阻 Ω		
AB 距 km			备注：		

操作员： 记录员：

A.4 时频电磁法发射源操作记录表格式

时频电磁法发射源操作记录表格式见表 A.4。

表 A.4 时频电磁法发射源操作记录表

工区： 日期： 场源：A _ B _

文件名	周期	周期数	电流	电压	备注

操作员： 记录员：

附 录 B
（资料性附录）
统计表格式

B.1 时频电磁法勘探振幅曲线、相位曲线及物理点质量评定表格式

时频电磁法勘探振幅曲线、相位曲线及物理点质量评定表格式见表 B.1。

表 B.1 时频电磁法勘探振幅曲线、相位曲线及物理点质量评定表

线点号	振幅级别			相位级别			物理点级别			备注
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	

B.2 时频电磁法勘探生产时效统计表格式

时频电磁法勘探生产时效统计表格式见表 B.2。

表 B.2 时频电磁法勘探生产时效统计表

月份	日历天数	生产天数	起止线—点号	剖面			物理点 个			备注
				计划 km	完成 km	%	测点	检查点	每日点	

中华人民共和国
石油天然气行业标准
时频电磁法勘探技术规程
SY/T 6688—2007
*
石油工业出版社出版
（北京安定门外安华里二区一号楼）
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行
*
880×1230 毫米 16 开本 1.25 印张 30 千字 印 1—800
2008 年 3 月北京第 1 版　2008 年 3 月北京第 1 次印刷
书号：155021·6110　定价：12.00 元
版权专有　不得翻印