

ICS 73.020
D 13
备案号: 1119—1998

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/ T 6289—1997

连续电磁剖面法勘探技术规程

Technical specifications for continuous
electromagnetic profiling method

1997-12-28 发布

1998-06-01 实施

中国石油天然气总公司 发布

目 次

前言	IV
1 范围	1
2 引用标准	1
3 定义和缩略语	1
4 地质任务与应用条件	1
5 技术设计	2
6 野外工作	2
7 室内资料处理	8
8 资料解释	10
9 成果报告的编写与评审	11

前 言

电磁阵列剖面 (Electromagnetic Array Profiling,简称 EMAP) 法是 80 年代中期从大地电磁 (MT)法中衍生出来的一门电磁测深技术。它通过采用新的观测方式,有效地提高了信息采集量,克服了 MT 法受静态效应影响强、横向分辨率低等缺点。我国物探工作者根据勘探实践,在 EMAP 方法的基础上提出了连续电磁剖面 (Continuous Electromagnetic Profiling,简称 CEMP) 法,随着该方法的广泛应用,迫切需要编制统一的标准。

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:石油地球物理勘探局第五地质调查处。

本标准起草人 刘 宏

连续电磁剖面法勘探技术规程

Technical specifications for continuous electromagnetic profiling method

1 范围

本标准规定了油气勘探中 CEMP 法野外施工、室内资料处理、资料解释等工作的基本要求。
本标准适用于油气勘探中 CEMP 法勘探。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准的最新版本的可能性。

SY/T 5820—93 石油大地电磁测深法技术规程

3 定义和缩略语

3.1 定义

本标准采用下列定义。

3.1.1 固定远参考道法

在某地固定设置一个 MT 单点或一个排列，其他按要求布置电极和磁棒，测点围绕参考点或排列移动的方法。

3.1.2 移动远参考道法；互远参考道法

在两地分别布置同样排列的电极和磁棒，两排列对应的电道或磁道分别互作参考，观测完毕后，两个排列同时移动的方法。

3.2 缩略语

CEMP

英文全称 Continuous Electromagnetic Profiling Method, 简称 CEMP, 中文称连续电磁剖面法。

4 地质任务与应用条件

4.1 地质任务

4.1.1 研究盆地区域地质结构、基底起伏、埋深、接触关系及划分盆地范围。

4.1.2 研究局部构造形态、产状及断裂展布。

4.1.3 在高阻层（如火成岩、碳酸盐岩、砾岩、变质岩等）覆盖区探测下伏构造。

4.1.4 预测目的层岩性分布及厚度。

4.2 应用条件

4.2.1 地层有明显的电性差异。

4.2.2 主要电性标志层有足够的厚度。

4.2.3 适用于一维、二维及三维电性结构。

4.2.4 探区内不受大的工业干扰和其他人文干扰影响。

4.2.5 适用于平原、沙漠、沼泽、丘陵、山地等地区。

5 技术设计

5.1 设计前的准备工作

5.1.1 为避免干扰,提高观测质量,可以根据实际情况设计一定数量的近磁参考或远参考道测点,甚至布设磁基站。

5.1.2 其他基本要求按 SY/T 5820—93 的 3.1 执行。

5.2 测网设计

测网有剖面 and 面积两种方式,其勘探精度不同。

5.2.1 采用剖面进行测量时,设计的 CEMP 测线点距规定见表 1。

表 1 剖面测点密度表

比例尺	点 距 km
1: 25000	<0.25
1: 50000	> 0.25 ~ 0.5
1: 100000	>0.5

5.2.2 采用面积进行测量时,全区点、线距应基本一致。设计的 CEMP 测线线距和测点点距规定见表 2。

表 2 面积测网密度表

比例尺	线 距 km	点 距 km
1: 25000	0.05 ~ 0.25	
1: 50000	> 0.25 ~ 0.5	

5.3 设计书的基本内容

5.3.1 在新区应开展一些必要的试验,以验证该地区是否适合该方法。

5.3.2 其他按 SY/T 5820—93 的 3.3 执行。

5.4 设计书的审批、执行和修改

按 SY/T 5820—93 的 3.4 执行。

6 野外工作

6.1 测线和测点布设

6.1.1 测线布设时应按设计书进行,特殊地区可根据实际地形、地物情况在一定范围内作适当调整。

6.1.2 沿测线选择的测点,其点距通常应按技术规定布设。如果遇到不可避免的障碍物可适当进行调整。

6.1.3 测点平面坐标和高程应实测。

6.1.4 电极应选在周围开阔、地形平坦处,避开山顶、狭窄的深沟底或岩石裸露处,且两极相对高差与极距之比应小于 10%。

6.1.5 布设磁棒及磁基站时应选在周围开阔、地形平坦处，所布磁传感器附近应无明显的局部非均匀体和较强的干扰源。

6.1.6 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，应及时延长测线。

6.1.7 测点应远离强干扰源，一般要求：

- 距工厂、矿山、电站大于 2km。
- 距广播电台、雷达站大于 1km。
- 距高压电力线大于 500m。
- 距繁忙的公路大于 200m。

6.1.8 磁装置应距强干扰源更远，一般是测点与对应的强干扰源之间距离的 1.5 倍以上。

6.1.9 测点均应埋设木桩，并标明测线、测点编号和日期。

6.2 观测装置及布设

6.2.1 直线 CEMP 观测装置如图 1 所示：测线以直线方式向前延伸，多道观测。 E_x 电极及 H_x 水平磁棒方向与测线延伸方向一致； E_y 电极及 H_y 水平磁棒方向与测线延伸方向垂直。每一个排列可有一到多个 E_x 方向电极，至少一个 E_y 方向电极，一组 x, y 方向水平磁棒和一个 z 方向垂直磁棒。

6.2.2 折线 CEMP 观测装置如图 2 所示：测线以折线方式向前延伸，多道观测。在一个排列中， E_x 电极及 H_x 水平磁棒方向应与此段排列方向一致； E_y 电极及 H_y 水平磁棒方向应与此段排列方向垂直。每一个排列可有一到多个具有同一方向的 E_x 方向电极，至少一个 E_y 方向电极，一组 x, y 方向水平磁棒和一个 z 方向垂直磁棒。

6.2.3 十字 CEMP 观测装置如图 3 所示：测线以直线方式向前延伸，多道观测。一个 x 方向排列和一个 y 方向排列构成一组互相垂直的直线观测装置。 E_x, E_y 方向电极互相垂直，各具有一个或多个与自己测线方向相垂直的垂直电道。一个十字观测装置至少有两组各自独立且互相垂直的 x, y 方向水平磁棒和两个对应的 z 方向垂直磁棒。

6.2.4 网格 CEMP 观测装置如图 4 所示：测线以直线方式向前延伸，多道观测。多个具有相同电极距的 x, y 方向排列构成一个互相垂直的网格观测装置。 E_x, E_y 方向电极互相垂直。一个网格观测装置至少有两组各自独立且互相垂直的 x, y 方向水平磁棒和两个对应的 z 方向垂直磁棒。

6.2.5 单排列 x （测线）方向有效测点如果超过 5 个，至少应有两个 E_y 方向电极，且均匀分布。

6.2.6 CEMP 观测时工区内各排列的磁棒、近磁参考所用磁棒、远参考点所用磁棒及磁基站所用磁棒应保证在同一排列中对应方向上的一致和 x, y 方向间互相垂直。

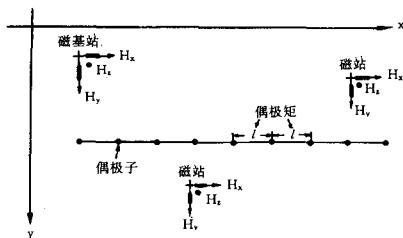


图1 直线 CEMP 观测装置

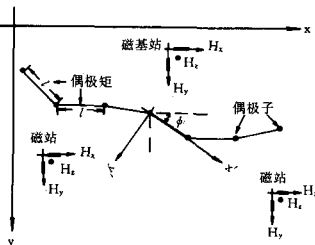


图2 折线 CEMP 观测装置

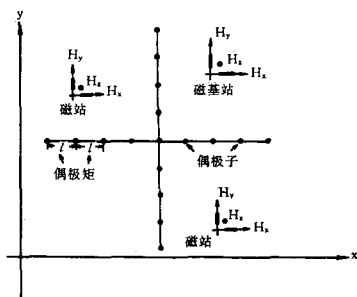


图3 十字 CEMP 观测装置

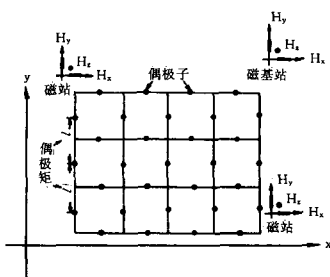


图4 网格 CEMP 观测装置

6.2.7 在地形复杂区,剖面观测测点偏移距离不应超过设计规定点距的 20%;面积观测测点偏移距离不应超过设计规定点距的 5%。

6.2.8 各电极间的电极距实测,测距误差应小于 1%。如测点周围地表起伏不平,应按实测水平距离布极。

6.2.9 y 方向电极距可根据观测信号的强弱和噪声强度来确定,为压制表层不均匀体的影响, E_y 方向上尽可能使用较大电极距,一般在 100~300m 之间选择。

6.2.10 电极接地电阻应不大于 2000 Ω 。在沙漠、戈壁和高阻岩石露头区,可采用多电极并联或电极四周垫土、加水浇灌并压实等办法来降低电阻。

6.2.11 电极应埋入土中 20cm 以下,保持与土壤接触良好、稳定。电极一般不应埋设在树根处、流水旁、繁忙的公路边,村庄内和沟、坎边。电极的埋置条件最好基本相同。

6.2.12 各水平磁棒的方位及水平角度用经纬仪准确测定,各磁棒间的方位偏差应不大于 10',水平度偏差应不大于 5',埋深不小于 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。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。

6.2.13 电极连线、磁棒连线及其他电缆均不应悬空,应沿地压实,以防止晃动产生干扰。

6.3 远参考道的设置

6.3.1 远参考道的设置分为固定远参考道法和移动远参考道法(互远参考道法)两种。

6.3.2 采用固定远参考道法工作,参考点或排列应选在干扰背景小、地面开阔平坦、测区内较适中的位置。

6.3.3 采用互远参考道法工作,两个排列间的距离应根据测区的噪声强弱及相关程度,通过观测试验确定。

6.3.4 远参考道法装置的敷设按 6.2 执行。

6.4 近磁参考与磁基站的设置

6.4.1 近磁参考装置为:在正常排列的磁棒(测点磁道)10~300m 范围内以相同的方式重新布设一套磁棒(参考磁道),一个排列观测完毕后,两套磁棒同时移动。

6.4.2 磁基站的装置为:在测区某一或多个固定位置布设一套或多套与测点磁道相同方式的磁棒(基站磁道),一个排列观测完毕后,基站磁道不变,直接观测下一个排列;也可使用其他的基站磁道,直接观测下一个排列。

6.4.3 采用近磁参考或设定磁基站工作时,参考道或磁基站应选在干扰背景小、地面开阔平坦、测

区内较适中的位置。

6.4.4 采用近磁参考法还是采用磁基站法工作，应通过观测试验确定。

6.5 数据采集记录

6.5.1 用于数据采集的仪器，施工前后应检测仪器的一致性或进行标定来检查仪器是否正常。在同一地区施工的多台仪器应在同一测点上进行一次对比，一致性对比合格后方可进行生产。一致性对比或标定结果应保留待查。

6.5.2 使用的仪器应按期进行月检，月检合格后方可进行下一步生产。每次月检都应有书面记录。

6.5.3 测点布设完毕后，应检查布设是否正确，连线是否牢固。电极、磁棒、信号线的敷设和埋置应符合设计及技术规程要求。

6.5.4 仪器启动后应进行噪声测试、增益测试、电极比较、极性比较。各项指标符合设备要求后方可观测。

6.5.5 输入计算机记录头段的参数必须齐全、正确。

6.5.6 在观测进程中，随时监视各道变化，如遇记录道饱和、严重干扰、信号微弱及观测时信号不稳定等现象，应及时采取措施，予以补救。

6.5.7 一个排列上的数据采集应连续进行，选择干扰背景比较平静的时间记录。

6.5.8 每个测点的观测时间应达到或高于设计规定的最大观测时间。

6.5.9 每一频点应有足够的叠加次数和精度，特别是低频段数据质量，如达不到要求，应延长观测时间，增加叠加次数。

6.5.10 在野外进行剖面观测时，至少每一条测线上的所有测点及参考点应保证相同的频点数和频率值；进行面积观测时，全区所有测点和参考点应保证相同的频点数和频率值。

6.5.11 在观测时应及时在屏幕（或打印机）上显示曲线，对视电阻率、相位曲线的整体形态和质量进行判断，确定是否有频点数据畸变，及时进行调整。干扰较大时，应增加叠加次数，必要时重测相应频段。低频段有效叠加次数应不少于3。

6.5.12 采用近磁参考法、磁基站法或远参考道法工作时，参考点与观测点、参考道与观测点有关测道记录应同步。

6.5.13 一个测点观测完成后，应转录两份数据到磁介质上。磁介质应贴上标签，注明工种、测区、测线号、测点号、参考点号、文件、仪器、施工单位、施工日期、操作员姓名及序号等。

6.5.14 测量员和操作员要认真填写工作班报（格式见表3表4），要求字迹清楚，符号正确，没有涂改现象。

6.5.15 采用远参考道法观测时，应关闭无线电通信，等到一个频段观测完毕后，再打开通信设备进行联络。若因地形等因素造成通信困难时，可增设通信中转站。

6.6 质量检查点

6.6.1 检查点应是同一排列中的测点，并在不同日期重新布极后进行的重复观测点。

6.6.2 检查点总数不得少于全测区测点的3%，且在时间上和测区内均匀分布。在测区视电阻率异常部位必须有检查点。

6.6.3 检查点与被检查点相应的全频段视电阻率、相位曲线形态应一致，对应频点的数值接近，总体相对均方误差按下式计算，应小于5%。

$$m = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i - A_r}{A} \right)^2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中 m ——某一检查点的总体相对均方误差；

n ——表示检查点的频率点数；

i ——频点号 ($i=1,2,3,\dots,n$);

A_i ——某测点第一次观测时第 i 个频点的视电阻率或相位, $\Omega \cdot \text{m}$ 或 ($^\circ$);

A'_i ——某测点第二次观测时第 i 个频点的视电阻率或相位, $\Omega \cdot \text{m}$ 或 ($^\circ$).

$$\bar{A} = \frac{A_i + A'_i}{2} \dots\dots\dots(2)$$

6.6.4 在某些强噪声区, 检查点相对误差达不到上述要求时, 应对原施工设计提出修改意见。

表 3 CEMP 勘探测点布极班报(格式)

测区				电信号	通道	电极距	接地电阻	方位角		
测线号	测 点 号			E_{x-1}						
日期				E_{x-2}						
单位				E_{x-3}						
布极员				E_{x-4}						
测量员				E_{x-5}						
天气				E_{x-6}						
备注				E_{x-7}						
布极方式(观测装置图)		测点周围地形描述		E_{y-1}						
				E_{y-2}						
				E_{y-3}						
				E_{y-4}						
				E_{y-5}						
				E_{y-6}						
				E_{y-7}						
	磁信号	通道	类 型		方向	磁基站信号	通道	类 型		方向
测点	H_{x-1}		磁棒编号			H_{x-A}		磁棒编号		
磁道	H_{y-1}		磁棒编号			H_{y-A}		磁棒编号		
测点	H_{x-2}		磁棒编号			H_{x-B}		磁棒编号		
磁道	H_{y-2}		磁棒编号			H_{y-B}		磁棒编号		

6.7 仪器的检测和维护

仪器的检测和维护应按 SY/T 5820—93 的 4.6 执行。

6.8 野外工作应提交的资料及要求

6.8.1 提交的原始资料如下:

- 时间域原始数据及叠加功率谱数据软盘。
- 操作员工作记录、测点布置记录。
- 视电阻率、相位原始记录曲线及数据。
- 点位测量记录及数据软盘。

——仪器检测、维护及磁棒标定记录。

6.8.2 提交预处理数据软盘及相应的打印资料如下:

- 视电阻率和相位曲线及预处理数据软盘。
- 视电阻率和相位断面图。
- 其他信息资料。

6.8.3 提交的原始资料及预处理结果, 必须与每个测点相对应, 且配套齐全。列出的清单及打印、填写的数据必须清晰正确。

6.8.4 点位测定记录所提供的数据应是每一个有效测点的坐标数据。

表 4 CEMP 勘探测点操作员工作班报(格式)

测 区				主机编号														
测线号				电 场 采 集 站 号														
日期																		
单位																		
天气																		
操作员																		
工作 时间	开始																	
	结束																	
运行号	频段	扫描 速度	频带	电场采 集站增益	主机各道增益													
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
备注																		

6.9 野外工作质量评价

6.9.1 全频段视电阻率和相位曲线质量评价分为:

——Ⅰ级(优良): 曲线光滑, 连续性好; 85%以上频点对应数据的偏差不超过 20%, 能够严格内插曲线。

——Ⅱ级(合格): 曲线形态清楚, 无明显脱节现象, 无连续三个以上的畸变频点; 75%以上频点对应数据的偏差不超过 40%; 存在畸变的频点数不能超过总频点数的 10%, 经平滑后能满足解释要求。

——Ⅲ级(不合格)达不到Ⅱ级的要求。

6.9.2 每个测点的视电阻率(ρ_{xy} , ρ_{yx})和相位曲线(φ_{xy} , φ_{yx})应分别评定, 四条曲线按级登记, 对Ⅲ级曲线还应注明不合格原因。

6.9.3 物理点质量评价标准如下:

——Ⅰ级(优良): 一个测点的视电阻率和相位四条曲线中 ρ_{xy} 和 φ_{xy} 应为Ⅰ级, 其余两条曲线中无Ⅲ级; 起始高频不低于200Hz, 低频能保证满足设计要求; 原始记录(班报、曲线及打印数据)清楚齐全。

——Ⅱ级(合格): 一个测点的视电阻率和相位四条曲线中有三条在Ⅱ级以上(含Ⅱ级); 在最高频点和最低频点范围内, 曲线完整, 满足设计要求, 原始记录(班报、曲线及打印数据)清楚齐全。

——Ⅲ级(不合格): 达不到Ⅱ级要求。

6.9.4 禁止对原始数据进行人工删除和平滑等处理。

6.9.5 递交验收的曲线应是旋转到极化主轴方向后的曲线。

6.10 野外资料的验收

6.10.1 质量监督应在现场对生产全过程进行监督、验收, 并提供阶段验收意见。施工结束后, 施工单位应向甲方或上级申请工程验收, 并向验收组详细汇报任务完成情况、资料质量自检情况, 编写野外工作总结。

6.10.2 验收完毕后, 验收组应写出书面验收意见。验收书应包括生产任务、资料质量等内容。

6.10.3 提交验收的资料除6.8.1和6.8.2项所有内容外, 还应当有:

——CEMP勘探视电阻率、相位曲线及物理点质量评定表(格式见表5);

——CEMP勘探检查点误差统计表(格式见表6);

——CEMP勘探生产进度情况统计表(格式见表7)。

7 室内资料处理

7.1 资料再处理

7.1.1 按SY/T 5820—93的5.1.1执行。

7.1.2 有下列情况之一者应对对应排列进行再处理:

——同方向电道与电道之间存在相干度小于0.8现象的排列。

——非一维情况下, 不同方向电道与电道之间存在相干度大于0.7现象的排列。

——互相交的电道与磁道之间存在相干度小于0.7现象的排列。

在工业干扰严重或地形复杂区对上述指标放宽20%。

7.1.3 野外资料再处理时, 可根据需要利用下述资料进行相应处理:

——原始时间序列数据。

——电磁场各分量的谱数据。

——功率谱数据。

——阻抗张量数据。

表5 CEMP勘探视电阻率、相位曲线及物理点质量评定表(格式)

线一点号	ρ_{xy} 级别			ρ_{yx} 级别			φ_{xy} 级别			φ_{yx} 级别			物理点级别			备 注
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	

7.2 数据编辑与曲线平滑的原则

7.2.1 对极化方式识别有误的数据点应予以调整。

7.2.2 对测点中偏离太大、明显畸变、出现无规律扭曲现象的数据应删除，但不能连续删除3个频点。用通用的数学算法，参照相邻测点的情况进行平滑插值。

7.2.3 每个测点应在计算机上做自动平滑，不应做手工平滑。

表6 CEMP 勘探检查点误差统计表(格式)

第 点

顺序	频点	ρ_{xy}	φ_{xy}	$\rho_{xy'}$	$\varphi_{xy'}$	%	ρ_{yx}	φ_{yx}	$\rho_{yx'}$	$\varphi_{yx'}$	%	备注

表7 CEMP 勘探生产进度情况统计表(格式)

施工单位 地区 仪器台数

月份	日历天数	生产天数	起止线 一点号	剖 面			物 理 点			备 注
				计划 km	完成 km	%	坐标点 个	检查点 个	点/日 个	

7.2.4 数据点连续性差，标准偏差大的测点，应参照相邻测点的曲线进行平滑，做到客观、合理、符合同一或相邻排列曲线变化的一般规律。

7.2.5 作剖面处理时，至少每一条测线上的所有测点应保证相同的频点数和频率值；作面积处理时，全区所有测点应保证相同的频点数和频率值。

7.3 静校正和地形校正

7.3.1 根据已知地质资料和原始断面等值线图（视电阻率、相位等断面图）及地形起伏情况判断静态位移的程度。

7.3.2 选择最佳静态位移校正方法，对数据进行静态位移校正。

7.3.3 根据测区地形和地下电性情况进行数字模拟，确定是否应进行地形校正。

8 资料解释

8.1 定性解释

8.1.1 对全区所测的 CEMP 曲线进行分析、对比, 确定曲线类型。

8.1.2 将 CEMP 曲线与相应钻孔的电测井视电阻率曲线进行对比, 并对井旁测深曲线进行正反演模拟, 研究电性层对应的地质层位, 确定测区的地电关系。

8.1.3 对老地层出露区的 CEMP 曲线高频段进行视电阻率统计, 研究该地层电性资料, 确定测区的地电关系。

8.1.4 研究探区视电阻率和相位断面, 初步了解剖面电性异常特征, 并进行剖面对比分析。

8.1.5 研究探区总纵向电导异常, 初步了解探区基底起伏形态。

8.1.6 根据地质解释需要可选择做下列定性解释图件:

- 视电阻率曲线类型图。
- 视电阻率、相位断面图。
- 总纵向电导图。
- 某一频率的视电阻率平面图。
- 特征点 (如极大、极小) 视电阻率平面图。
- 其他有意义的图件。

8.2 定量解释

8.2.1 完成定性解释的基础上开展定量解释工作。

8.2.2 将 CEMP 曲线进行一维直接反演, 并综合其他地质、地球物理资料, 确定每条测线的初始地电模型。

8.2.3 确定初始地电模型后, 利用其他一维反演得到更准确、可靠的地电模型。

8.2.4 定量解释尽量以二维解释为主, 利用已知的钻井、地震及其他地质资料作约束。

8.2.5 所有解释结果应拷贝存盘, 作为成果报告的附件。

8.2.6 根据地质任务的要求可选做下列定量解释图件:

- 深度—电阻率断面图。
- 主要电性层埋藏深度 (或海拔) 图。
- 主要电性层厚度图。
- 主要电性层电阻率平面图。
- 其他有意义的图件。

8.3 综合解释

8.3.1 综合解释的内容: 结合地质、钻井及其他地球物理资料。

- 研究高阻基底埋深和起伏形态, 划分探区构造单元和次级构造界限。
- 推断电性层相应的地层变化。
- 确定局部构造。
- 研究探区断裂展布特征。
- 根据层电阻率变化推测岩性变化。
- 预测含油气远景区。
- 设计所规定的其它问题。

8.3.2 提交的主要地质成果:

- 地质、地球物理综合解释图。
- 构造单元划分图。
- 断裂展布图。

- 特殊情况下的岩性预测图。
- 油气远景预测图。
- 设计所规定的其他图件。

8.3.3 提交的主要数据

- 完整的平滑后数据。
- 完整的静校正后数据。

9 成果报告的编写与评审

按 SY/ T 5820—93 的第 7 章执行。
