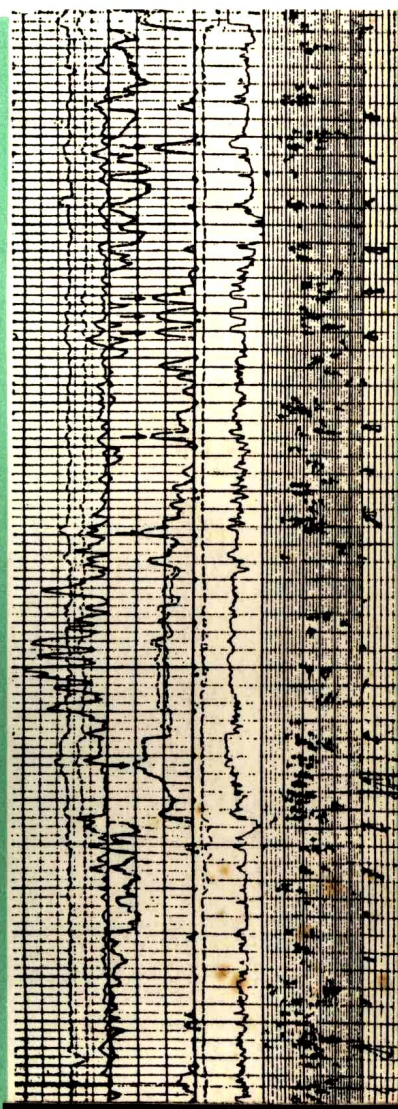


测井培训丛书

微球形聚焦测井

石油工业出版社



测井培训丛书

微球形聚焦测井

江国法 张国维 方锦高 编译
尚作源 审校

江苏工业学院图书馆
藏书章

石油工业出版社

责任编辑: 李希文 司徒丽丽
封面设计: 胡 炯

内 容 提 要

本书是《测井培训丛书》中的一种,它主要介绍了微球形聚焦测井的基本原理、测量原理、测量方法、仪器的操作、刻度和维修、介绍了测井质量控制和测井解释。它不仅是数控测井操作、维修人员、现场解释人员理想的培训教材,也是测井技术人员的参考用书,此外还可供大专院校有关专业师生参考。

* * *

本书由江国法、张国维、方锦高编译,江国法编译第1~4节,张国维编译5~9节,方锦高编译第10节及附录。全书由尚作源审校。

测 井 培 训 丛 书

微球形聚焦测井

江国法 张国维 方锦高 编译
尚作源审校

*

石油工业出版社出版发行
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

*

787×1092 毫米 16开本 4 1/4 印张 100千字 印1—2,500

1986年5月北京第1版 1986年5月北京第1次印刷

书号: 15037·2672 定价: 0.84元

内 部 发 行

出版者的话

为了做到在引进国外测井仪器的同时,要注意消化、吸收和掌握国外先进的测井技术,提高我国石油测井技术人员的技术水平,我们出版了《测井培训丛书》。该丛书主要根据斯伦贝谢公司CSO数控测井系列编译的,包括有:

数控测井
声波测井
感应测井
双侧向测井
微球形聚焦测井
电磁波传播测井
高分辨率地层倾角测井
补偿中子测井
自然伽马与自然伽马能谱测井
岩性密度测井
电缆通信系统
核测井仪器模块
重复式电缆地层测试器
打捞技术

《测井培训丛书》每一分册的内容一般分为两部分,第一部分是操作、维修和现场解释人员必须具备的知识,介绍了测井方法原理,测量技术,仪器的基本框图、结构和技术特性,操作与维修须知,刻度与环境校正,质量控制与资料解释。第二部分是需要更深入了解的知识,主要介绍了测井方法的理论基础,详细框图以及需要详细说明的关键技术问题。因此该丛书可做为数控测井操作与维修技术人员、资料解释与技术管理人员的培训教材,也可做为测井技术人员及大专院校测井专业师生的参考书。

在《测井培训丛书》的编译出版过程中,石油部地质勘探司做了大量的组织工作;石油部科学技术情报研究所、华东石油学院承担了编译工作;大庆石油管理局测井公司、中原石油勘探局测井公司给予了大力支持和帮助;四川石油管理局井下作业处、华北石油管理局测井公司、大港石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井研究所、江汉石油学院物探系、辽河石油勘探局测井公司、西安石油勘探仪器总厂也给予了积极的支持和帮助,在此一并表示感谢。

目 录

第一章.....	(1)
第一节 微电阻率测井.....	(1)
1.1. 引言.....	(1)
1.2. 微电阻率仪器——历史背景.....	(2)
第二节 微球形聚焦测井和合成微电极测井的原理.....	(3)
2.1. 微球形聚焦测井原理.....	(3)
2.2. 合成微电极测井原理.....	(5)
第三节 SRT-B 基本框图	(8)
3.1. 下井仪器 (SRE-CB+DRS-B)	(8)
3.2. 地面处理 (MRM-AB)	(10)
第四节 仪器说明.....	(10)
4.1. SRT-B 电阻率井下仪器和地面模块	(10)
4.2. 概述	(11)
第五节 仪器操作和测井须知	(13)
5.1. 安全事项	(13)
5.2. 刻度	(13)
5.3. CSU 常数	(15)
5.4. 测井曲线显示	(15)
5.5. 测试盒校验	(17)
5.6. 测井须知	(18)
第六节 仪器维修: 装配 (FIT)	(18)
6.1. 维修保养须知	(18)
6.2. 各种问题	(18)
第七节 测井质量控制和解释	(25)
7.1. 概述	(25)
7.2. 泥饼的影响	(25)
7.3. 分层能力和井眼不规则影响	(28)
7.4. R_t 、 R_{xo} 和 D_i 的确定	(29)
7.5. 测井质量控制表	(32)
第二章	(33)
第八节 微球形聚焦测井仪方框图和电路详细介绍	(33)
8.1. 电源.....	(33)
8.2. 振荡器.....	(33)
8.3. I_0 放大器.....	(33)
8.4. I_0 测量放大器.....	(35)

8.5.	相敏检波器.....	(36)
8.6.	I_x 放大器.....	(36)
8.7.	I_1 测量放大器	(37)
8.8.	刻度与转接.....	(37)
8.9.	I_1 线路	(37)
8.10.	微球形聚焦测井 I_0 电导率信号	(40)
8.11.	微球形聚焦测井的井径仪信号	(40)
8.12.	电子线路短节的电源	(40)
8.13.	井下继电器电源	(42)
第九节	DRS-B液压系统	(42)
9.1.	前言.....	(42)
9.2.	DRS-B电路.....	(42)
9.3.	DRS-B液压系统描述.....	(46)
9.4.	液压操作原理.....	(47)
第十节	检修工作 (TRIM)	(51)
10.1.	前言.....	(51)
10.2.	DRS-B维修保养工作须知	(51)
10.3.	SRT-B的压力记录	(52)
附录		(53)
附录A	F.R.M中关于SRT-B的CP20.2号部分介绍	(53)
附录B	CPU-MRM的连接	(56)
附录C	电路图	(59)
附录D	IRT-SGTE-SRTB-SLT组合... ..	(62)

第一章

第一节 微电阻率测井

1.1. 引言

为什么需要象SRT-B这样的仪器？因为要测量 R_{xo} ，那么为什么要测量 B_{xo} 呢？使用电阻率测井仪器的一个主要目的是求 R_t （未被侵入的地层或原状地层的电阻率），以便结合其他参数（孔隙度、 R_w ，泥质含量等）计算地层的含水饱和度。换句话说，是为确定地层含油量。

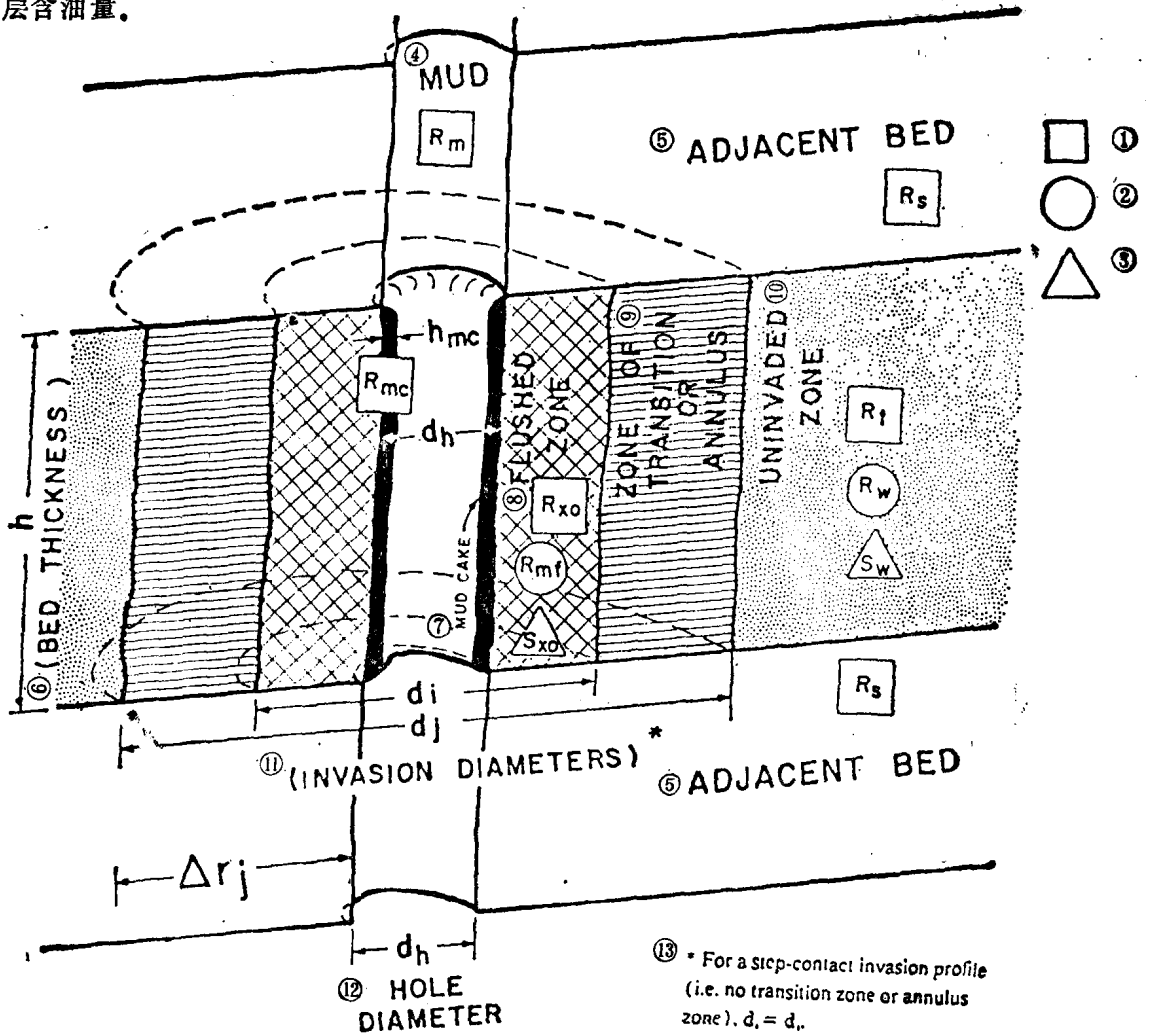


图1—1 储集层侵入特性示意图

①层带电阻率；②层带水电阻率；③层带含水饱和度；④泥浆；⑤围岩；⑥地层厚度；⑦泥饼；⑧冲洗带；⑨过渡带或环带；⑩原状地层；⑪侵入带直径；⑫井眼直径；⑬台阶状接触侵入剖面（即不存在过渡带或环带） $d_i = d_j$ ；

然而当测 R_t 时,井下仪器所发射的电流须穿过侵入带和过渡带,因此它的测量结果总是或多或少地受泥浆和侵入参数的影响。因此,在对地层中变化的电阻率作必要的补偿时,第一步就是要求得地层中各个部分的电阻率。用设计一套具有不同探测深度仪器的办法可达到这一目的。例如, R_t 仪器的设计主要是为测量未受侵入地层的电阻率,而 R_{xo} 仪器则用来测量冲洗带电阻率。图1—1为储集层侵入特性示意图。

一般说,同时使用浅、中、深测量仪器可获得最佳结果。

但我们由 R_{xo} 可得到的好处不止这一点,在后面进行解释研究时(第七节),还将看到:可用它确定 S_{hr} (残余烃饱和度),进而评价可动油;同时还可用它估算 R_w 值(地层水电阻率),及井下条件下的油密度等等。

1.2. 微电阻率仪器——历史背景

与大多数仪器出现的过程一样,经过了几种仪器的设计改进, R_{xo} 仪器才达到目前的SRT。这类仪器中首先得到广泛使用的是能提供不同探测深度的两条微电阻率曲线的微电极测井。

作为 R_{xo} 装置的微电极测井,存在的问题类似于长电极距的非聚焦测井仪。在不利的条件下电流线几乎完全沿泥饼流过而不进入冲洗带,如图1—2所示。

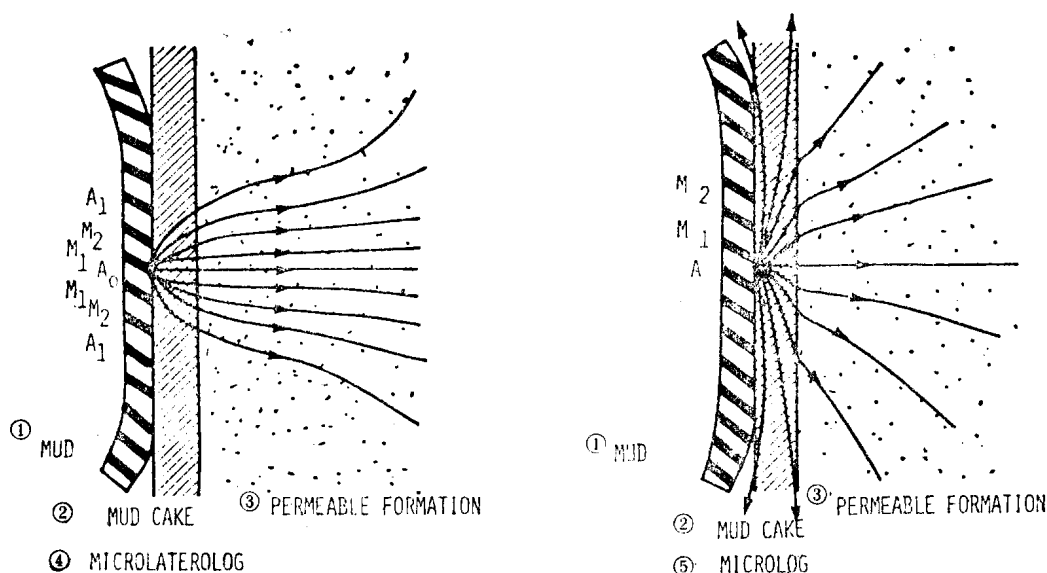


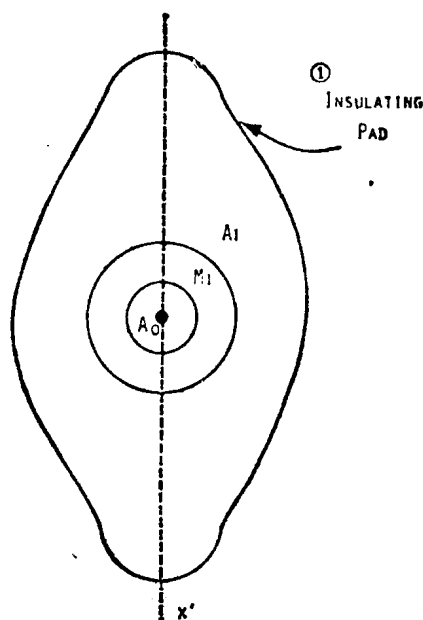
图1—2 在地层电阻率大于泥饼电阻率的孔隙性渗透性地层中微侧向测井和微电极测井电流线分布的比较(定性示意图)

①泥浆; ②泥饼; ③渗透层; ④微侧向测井; ⑤微电极测井

微侧向测井 聚焦电流束只有2英寸厚,因此它有极好的纵向分层能力。在泥饼厚度小于或等于 $3/8$ 英寸^①,侵入深度大于3英寸或4英寸的情况下,由它可不作校正而直接读得 R_{xo} 值(见图1—2)。它的主要缺点是:当泥饼厚度大于 $3/8$ 英寸,在 R_{xo}/R_{mc} 比值高的情况下,测量变为不可靠。

邻近侧向测井 它与微侧向测井相类似(事实上它们用同样的下井仪器测量,只是改换了极板,见图1—3)。它与MLL(微侧向测井)的主要差别是:对泥饼的响应不如MLL那样灵敏,要直接读得 R_{xo} 值侵入直径要大于或等于40英寸。

① 1英寸=0.0254米——译者注。



② PROXIMITY DEVICE SHOWS.
DISTRIBUTION OF ELECTRODES

图1—3 邻近侧向测井极板

①绝缘极板；②邻近侧向测井电极分布

微球形聚焦测井(MSFL) 设计微球形聚焦测井的目的是为克服微侧向测井和邻近侧向测井的缺点。根据球形聚焦原理采用推靠井壁的极板，适当选择电极距并有效控制屏蔽电流的分布，MSFL受泥饼的影响最小而其探测深度又不过度增加。

第二节 微球形聚焦测井和合成微电极测井的原理

2.1. 微球形聚焦测井原理

总测量电流 $I_t = I_0 + I_1$ 通过主电极 A_0 送入地层。总电流 I_t 的 I_1 分量(屏蔽电流)流入泥饼，并有少量进入地层，然后经电极 A_1 返回。另一部分 I_0 (测量电流)被聚焦进入地层，它成球状流出，返回到极板后板和仪器主体(B电极)。图2—1示出了微球形聚焦的测量原理图。

调整总电流 I_t ，使其达到：

$$V_{M1} - V_{M0} = V_{ref}(\text{常量})$$

V_{ref} 是由1010Hz振荡器●供给的恒定参考电压(20mV)。 I_0 放大器起控制 I_0 作用，以保证： $V_{M1} = V_{M2}$ 。

那么系统的视电阻率读数是：

$$R_{MSFL} = K \frac{V_{ref}}{I_0} \quad K = 0.041m$$

当我们测量 M_0 和 M_1 、 M_2 电极间电位差(V_{ref})时，对 R_{MSFL} 作贡献的只有图2—1所指示的地层部分，因而消除了不希望出现的泥饼影响。

与此相反，屏蔽电流 I_1 主要取决于泥饼厚度和其电阻率。测量 I_1 值将其送至地面，并结合 I_0 测量值，通过适当的算法求出泥饼厚度 h_{mc} 和合成微电极曲线。

● SRE-C用10mV的参考电压；SRE-GB用20mV的参考电压，

Micro S.F.L.

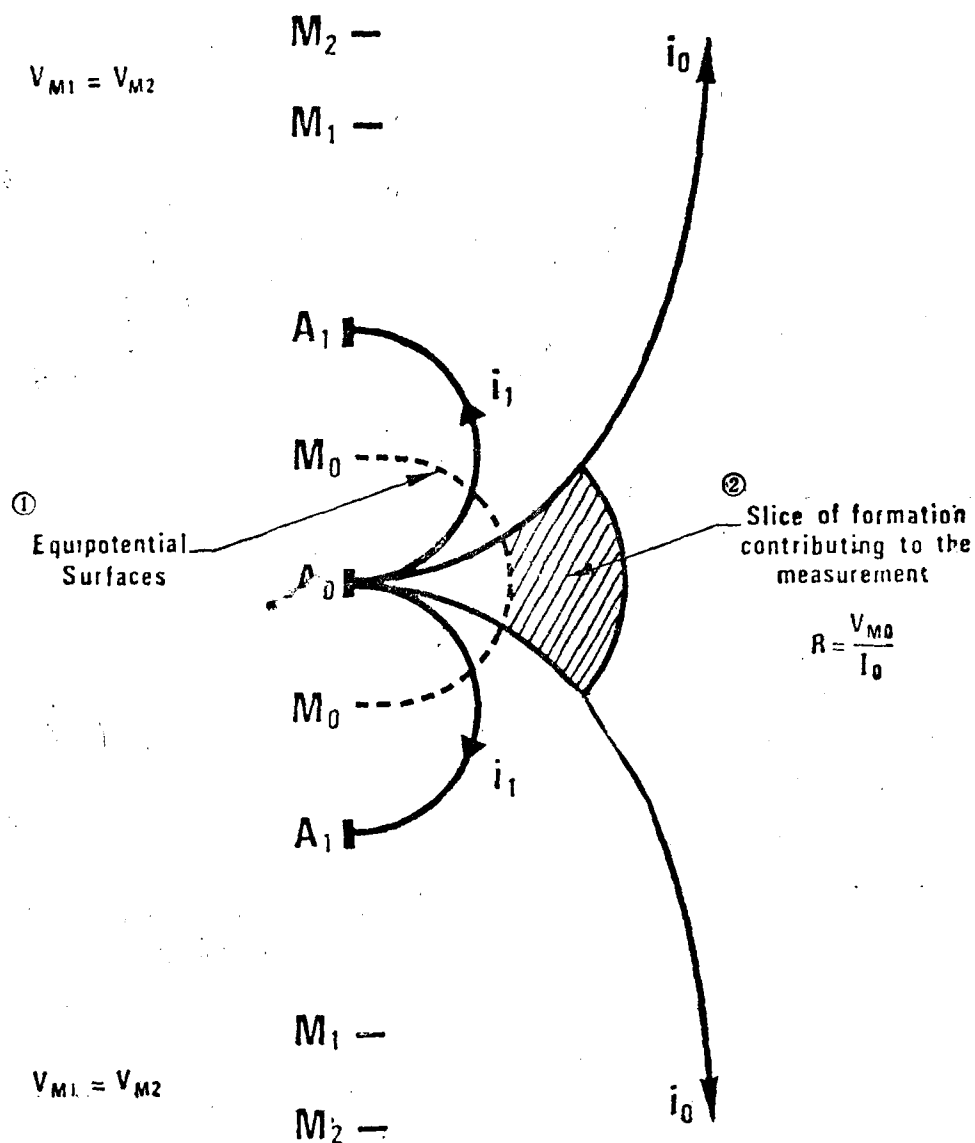


图2—1 微球形聚焦测井原理图

①等位面；②对 $R = \frac{V_{M0}}{I_0}$ 测量作贡献的地层

在均匀界质中，

$$I_1 = 5I_0$$

泥饼电导率大于地层时， I_0 变化很小，而 I_1 随泥饼厚度增大而增大，可用如下电流差函数

指示泥饼厚度：

$$h_{mc}=f(I_1-5I_0)$$

这种计算最初由SRP面板的模拟线路来实现，由于有最新的CSU软件而不用上述计算。

图2—2为微球形聚焦测井的极板与在井中测量时的电流分布状况。

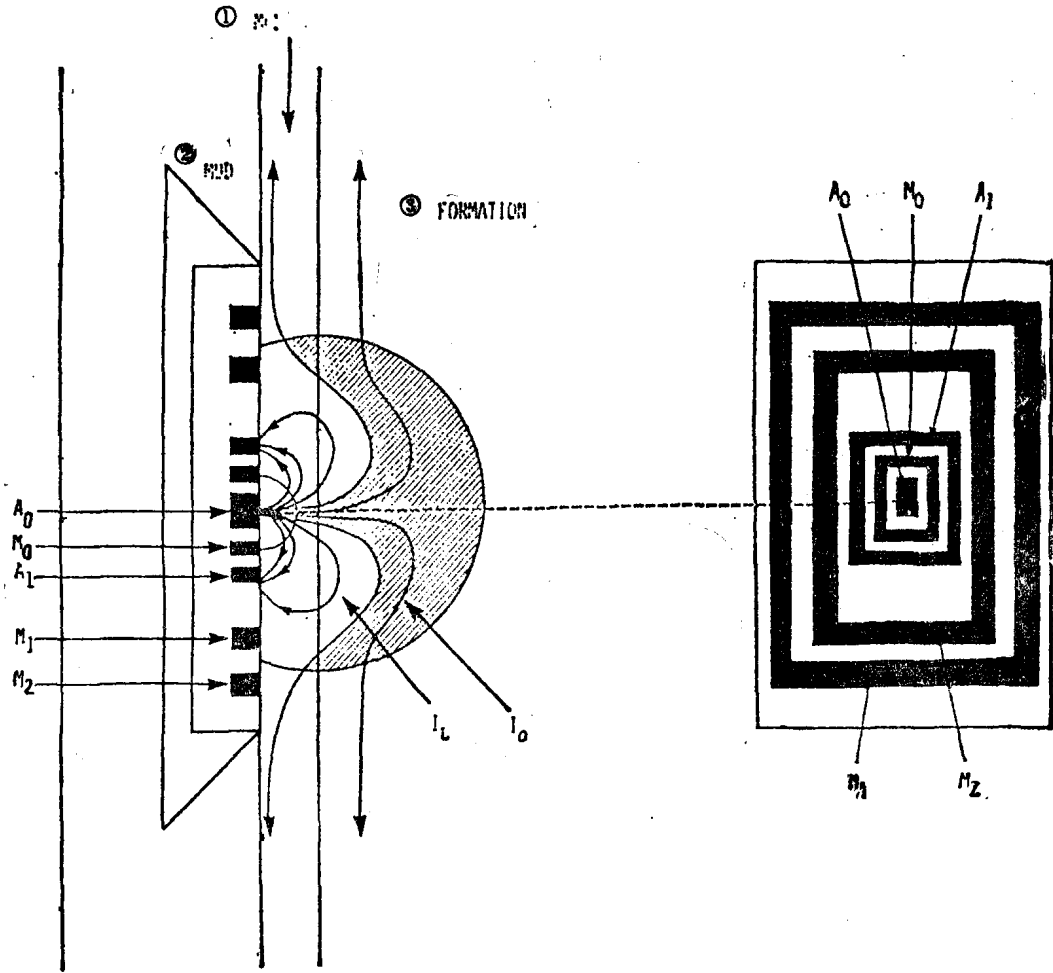


图2—2

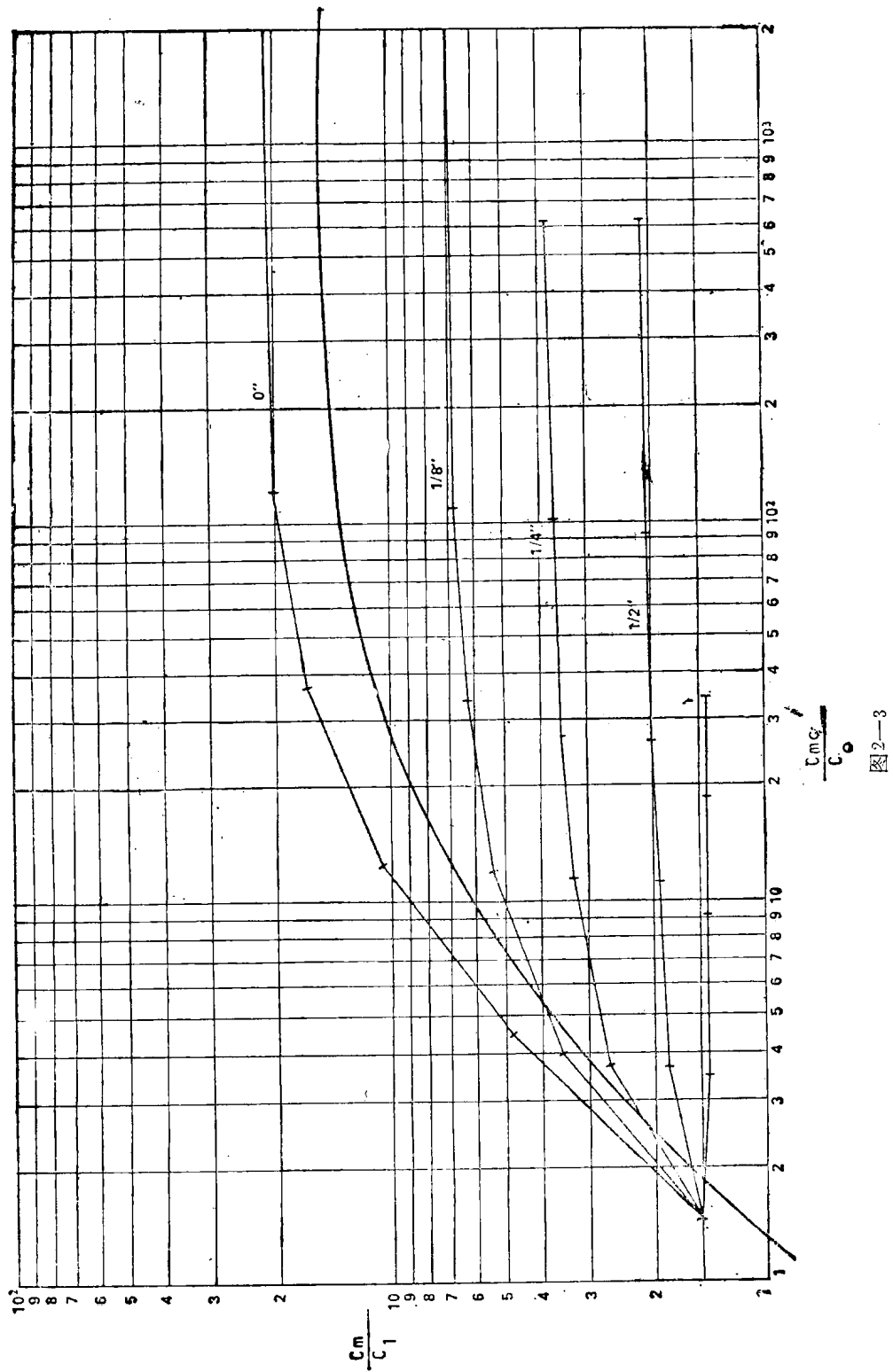
①泥饼；②泥浆；③地层

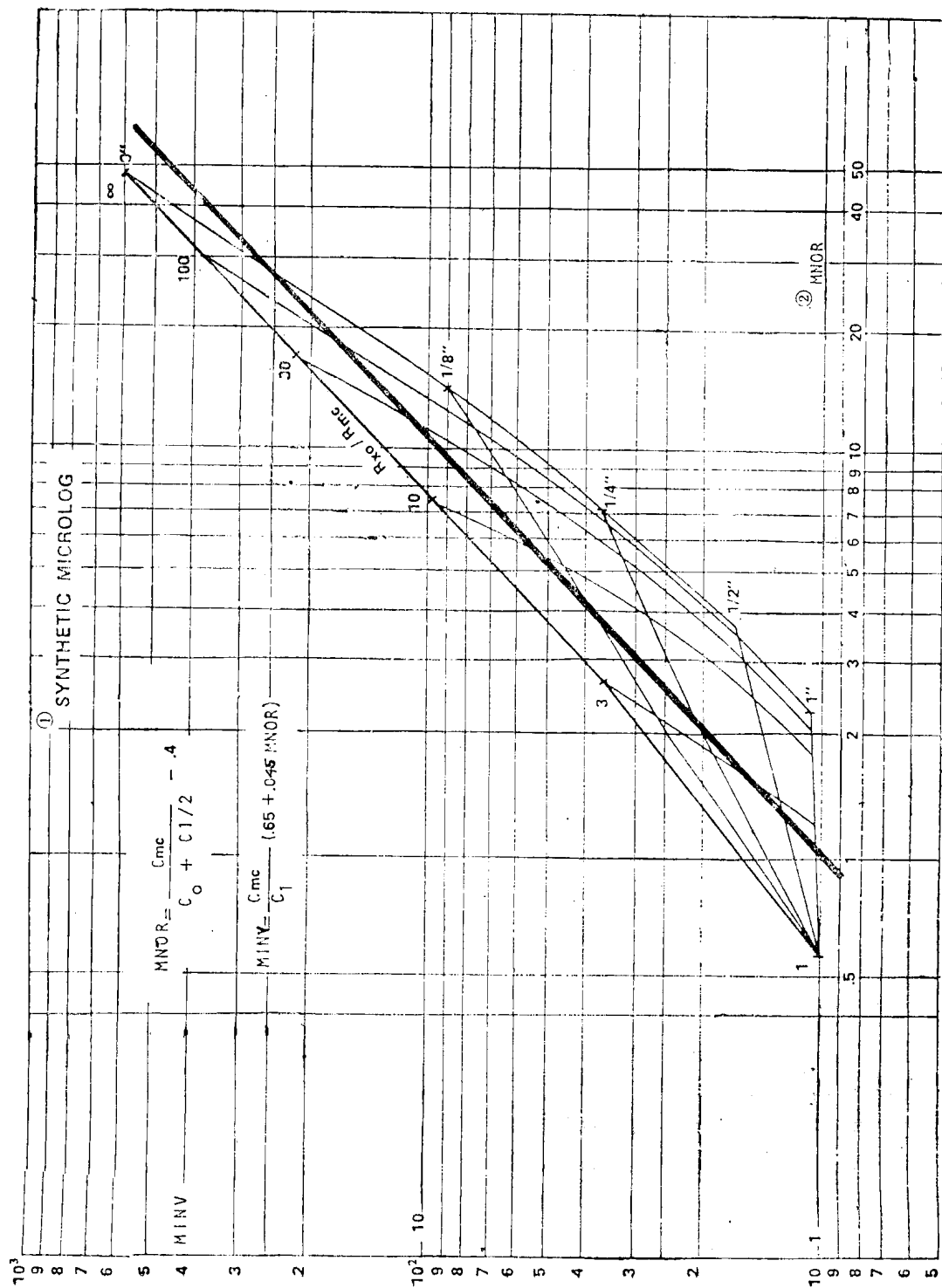
2.2. 合成微电极测井原理

微电极测井提供具有不同探测深度的两条电阻率曲线，存在导电泥饼时，浅探测曲线的读数低于较深探测曲线的读数。

合成微电极测井原理是：将 I_0 和 I_1 测量结果通过适当算法进行合成，得到其响应与微电极测井曲线相似的两条曲线。图2—3给出在不同泥饼厚度情况下MSFL的 C_0 、 C_1 响应曲线（分别由 I_0 和 I_1 求得）。

C_0 是用 I_0 为供电电流而测量的电导率， C_1 是用 I_1 测量的电导率（用比 I_0 大5倍的 K 值）， C_{mc} 是泥饼电导率，





I_0 测量的探测深度较深,因而它受泥饼的影响比深微电极曲线为小,将它和探测深度浅得多的 I_1 测量结果合成在一起,可产生一条其响应类似于2英寸微电位曲线。

MSFL响应值取决于 R_{xo}/R_{mc} 的比值,因此对它们作综合前必须将其测量值对 R_{mc} 进行标准化。

深探测曲线选定的关系式是:

$$MNOR = \frac{C_{mc}}{C_0 + 0.5C_1} - 0.40$$

这条经过标准化的曲线很类似于 R_2''/R_{mc} 。

图2—4上的那条粗线表示两条微电极曲线间没有差异的理想曲线。如果泥饼厚度为0英寸时存在正幅度差,与 R_{xo}/R_{mc} 比值高时相比, R_{xo}/R_{mc} 比值低时要有更厚的泥饼才会出现正幅度差。这就避免了在井眼不规则泥岩段出现假的正幅度差。

对应于标准化浅微电极曲线的 $R_1'' \times 1''/R_{mc}$ 曲线可用下式表示:

$$MINV = \frac{C_{mc}}{C_1} (0.65 + 0.045MNOR)$$

它就是在图2—4表示两条微电极曲线间没有差异的那条粗线。

有关这种算法的更详细资料请参看附录A。

第三节 SRT-B基本框图

图3—1是简化的MSFL框图。

3.1. 下井仪器 (SRE-CB+DRS-B)

MSFL极板和井径电位器及线路放在DRS-A/B探测器内。它们的电子线路放在SRE-CB短节内。

I_1 放大器通过主电极 A_0 输送总测量电流 I_t ,总电流的 I_1 分量(屏蔽电流)流过泥饼,其中少量进入地层,然后返回到 A_1 电极。

用电流束方式发射 I_0 进入地层,然后返回到B电极(极板下支承板), I_0 大小与 R_{xo} 成反比。

为了控制 I_t ,将 M_0 电极电位与 V_{ref} 和 M_1 电位之和进行比较。为了控制 I_0 大小,由 I_0 放大器对 M_1, M_2 间电位差进行比较。由于 I_1 放大器的增益很高,所以要调整总电流 I_t ,使输入电压接近零,而满足:

$$(V_{M1} + V_{ref}) - V_{M0} = 0$$

$$\text{或 } V_{M0} - V_{M1} = V_{ref} \quad (\text{常数})$$

此处 V_{ref} 是20mV的参考电压,由1010Hz振荡器供给。

在这一频率下, I_0 放大器的增益也需很高,因此才能控制 I_0 ,以便得出。

$$V_{M1} - V_{M2} = 0$$

$$\text{或 } V_{M1} = V_{M2}$$

在这种测量系统的视电阻率读数是:

$$R_{MSFL} = K \frac{V_{M0} - V_{M2}}{I_0}$$

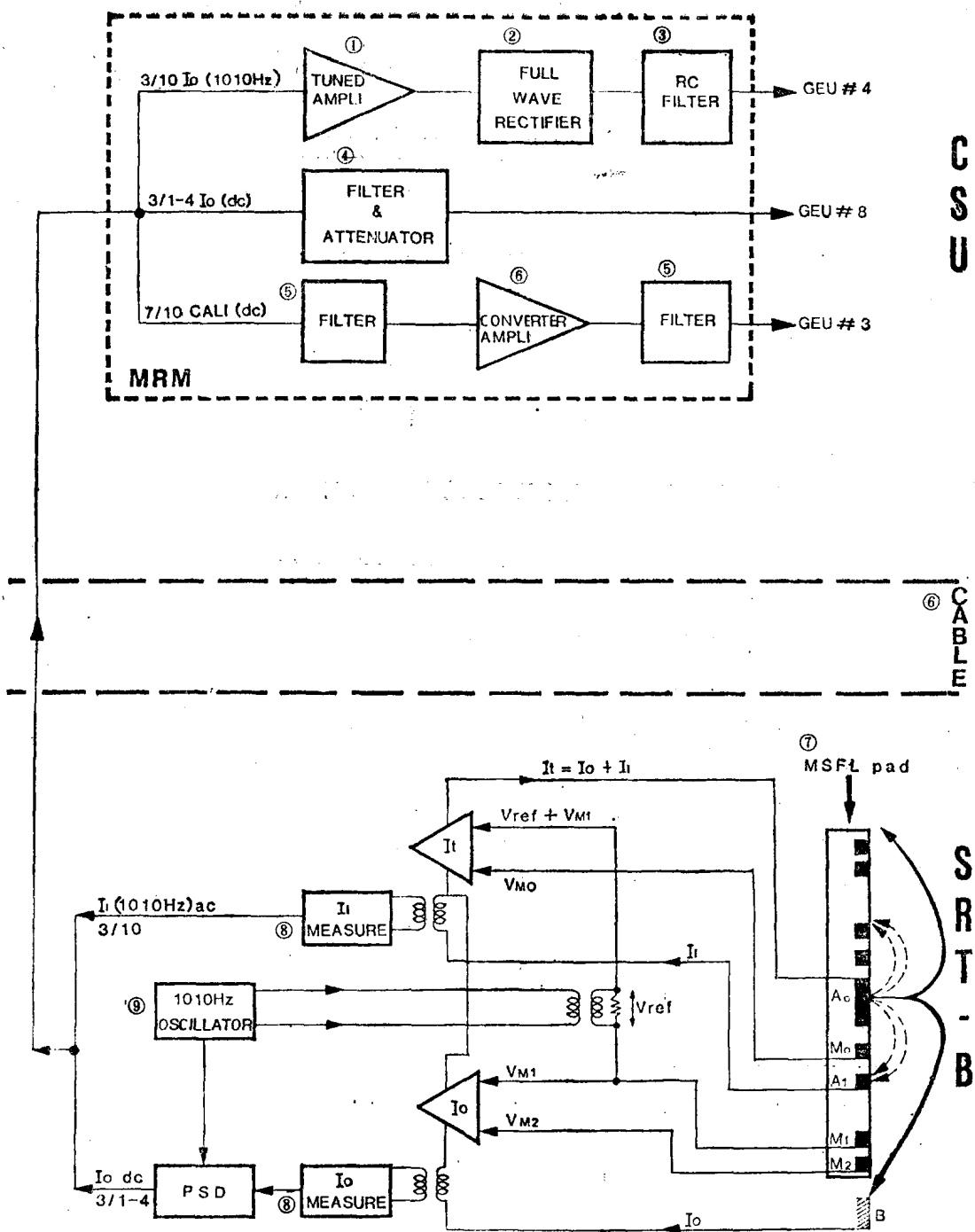


图3-1 简化的MSFL框图

- ①调谐放大器；②全波整流器；③RC滤波器；④滤波器和衰减器；⑤滤波器；⑥转换放大器；⑦微球形聚焦极板；
⑧测量；⑨1010Hz振荡器；

$$\text{或 } R_{\text{MSFL}} = K \frac{V_{\text{ref}}}{I_0}$$

此处K值取决于极板的几何形状和尺寸，对标准的MSFL极板：

$$K = 0.041 \text{ m}$$

由 I_0 测量放大器放大 I_0 ，并由相敏检波器转换成与其成正比的直流（DC）电压，相敏

检波器的相位参考信号由相同的1010Hz振荡器提供。最后 I_0 （现在是3V/ Ω 的直流电压）由3号导线与1—4号仿真线送到井上。

在 I_1 测量放大器处测量 I_1 ，并以1010Hz交流信号由3号与10号缆芯送到地面，其灵敏度为有效值35mV/ Ω /m。

井径仪线路装在DRS探测器内，其电位计用机械方法连接于MSFL极板支撑臂，由SRE-CB电源供给 ± 12 V直流电。井径仪放大器将井径信号转换成70 μ A/英寸的直流电流，由7号缆芯和铠装缆皮送往井上。

为了刻度井下仪器，经由5号和10号缆芯输送-100V直流电压，将继电器启动，由此将输入端与 I_0 和 I_1 测量放大器接通，并将它们与参考信号接通，这样为 I_0 （CMSF）提供等效于1000m Ω /m（毫姆欧/米）的输出信号，为 I_1 提供等效于200m Ω /m的输出信号。

3.2. 地面处理（MRM-AB）

微电阻率组件（MRM）将TPU（总电源）的交流主电源（AC MAIN）来的电源信号送到1号和4号缆芯。

由TPU电源继电器来的高压直流电（HVDC）被送到5号和10号缆芯，用来启动井下刻度继电器。

为了控制DRS探测器的液压传动装置，在收拢（CLOSE）位置时，将TPU（总电源）的AC AUX（辅助交流电源）来的高压交流电（HVAC）送到并联的缆芯2和6以及10号缆芯；在张开（OPEN）位置时，此高压交流电由5号和10号缆芯传送。为了保护井下电子线路，在这两种情况下都要断掉交流主电源。

频率为1010Hz的 I_1 正弦波信号经由3号和10号导线送到调谐在该频率处的放大器中去。此信号再经全波整流和滤波后，成为210mV/ Ω /m的直流电压送到GEU。

由3号缆芯和1/4号仿真线传送 I_0 信号，然后用四级R-C滤波器进行滤波，将其由3V/ Ω /m直流衰减到1V/ Ω /m直流。

井径信号由7号和10号缆芯以70 μ A/英寸电流形式送出。首先对其进行滤波，然后由一放大器转换为260mV/英寸的电压，再进行滤波后，送至GEU第三道。

一旦三个模拟信号进入GEU，就用多路转换器——A/D转换器进行处理，然后将信号送往CPU，道的分配情况如下：

CMSF.....（MSFL电导率）.....	GEU 第8道
I_1（屏蔽电流电导率）.....	GEU第4道
CALI.....（井径）.....	GEU第3道

第四节 仪器说明

4.1. SRT-B电阻率井下仪器和地面模块（图4—1）

1) 说明

SRT-B可提供MSFL，合成微电极和井径（CALI）三者并测记录。

2) 记录范围

RMSFL: 0.2~2000 Ω ·m

CALI: 4~22in（英寸）

3) 温度压力特性

20000PSi (磅/英寸²)^①。350°F^②

4) 可与其相组合的仪器

DLT-D (DLT-B只用于小井眼)

IRT-Q/R

SGT-E

SLT-N

DIT-D (需作改进)

5) 测试和专用设备

SRB-EB 用于MSFL极板的测试板P-

271982

HCB-A 探测器“张开”“收拢”的
液压传动装置

6) 备注

(1) DRS-B 是由 DRS-A 改进而来,
使它适合于SRE标准或CCS, 适合于LDT标
准或CCS

(2) SRE-CB是为改进SRE-C 的高阻
响应而设计的

(3) MRS-A 在仪器外径缩小到 $3\frac{7}{8}$
英寸时代替DRS使用。这时使用小井眼MS-
FL板板

(4) 小井眼MSFL极板使用 P-270955
测试板

4.2. 概述

SRT-B可同时记录MSFL, 合成微电极
和井径。井下仪器加地面组件 (module)
图, 示于图4—1。

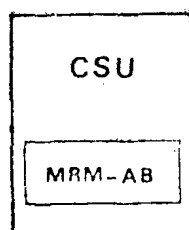
记录范围: SRE-CB含有限幅电路, 它
截去 I_0 测量放大器输出大于 $5000\text{m}\Omega/\text{m}$ (毫
姆欧/米) 部分。电阻率低于 $0.2\Omega\cdot\text{m}$ 时仅给出
低平的读数, 另一方面, 电阻率大于 $200\Omega\cdot\text{m}$
时就认为 MSFL 读数不可靠。4—22 英寸井
径范围就是探测器张开/收拢的实际范围。

温度、压力特性: SRT-B还没有高温型
号, 它的温度、压力额定值为: 350°F , 20000PSi (磅/英寸²)。

与其它仪器组合: IRT-SGTE-SRTB-SLT组合, 需要在仪器上作某些简单改进。请参
看附录D。SRT能和DIT组合, 但两种仪器都需进行改进, 并需去掉DIT的一条电阻率曲线。

① $1\text{PSi}=7.03.0(9\text{kg}/\text{m}^2)$ ——译者注。

② $1^\circ\text{C}=1.8^\circ\text{F}$ ——译者注。



W lbs	L in
15	16
140	72
207	131
10	8

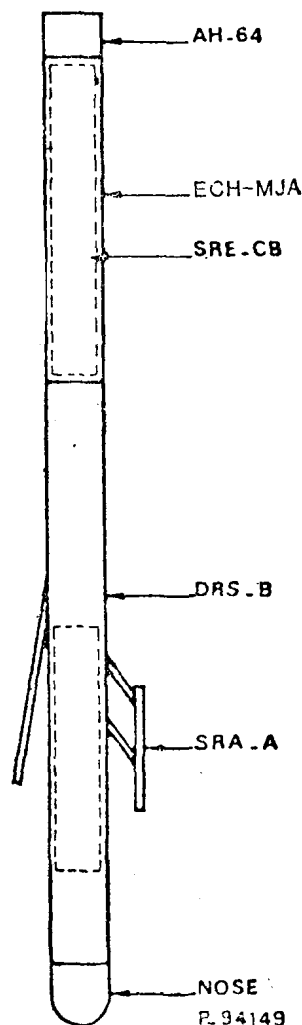


图4—1 SRT-B, 4" MSFL 电阻率仪器