

A white line drawing of an oil derrick stands on the left side of the cover. To its right, two vintage trucks are depicted: a smaller tanker truck and a larger truck with a box trailer. The background is a solid blue color, and the title is printed in large red characters on a white rectangular area.

研究油井技术情况的 地球物理方法

北京石油学院油矿地球物理生产实习队編

石油工业出版社

內 容 提 要

本書是北京石油學院物探生產實習隊在實習過程中所編寫的。全書共分三部分敘述。第一部分介紹了井徑儀、井斜儀、井溫儀、井內流体電阻計、複式綜合井下儀器等的構造原理、綫路、應用和校驗等，也介紹了在使用過程中可能遇到的故障，以及應怎樣防止和檢修故障部分，也談到維護儀器的方法。這一部分還介紹了電纜的類型、構造和使用、維護、修理電纜的方法。

第二部分介紹怎樣應用測井方法尋找套管斷裂、漏水、斷鑽桿的位置，也談到怎樣應用放射性同位素測定固井注水泥后的上返高度和應用放射性同位素示蹤測定射孔深度的方法，也介紹了怎樣檢查注水泥質量、用火油水泥封水層和壓裂的效果。

第三部分介紹了射孔、爆炸和井壁取心，從爆炸和有關炸藥的一般知識談起，談到火藥的種類、性能、用途，談到爆炸筒、井壁取心器和各種射孔器的構造原理和用途，以及這些儀器的裝藥方法，最後還談到應用這些儀器時容易遇到的事故和處理方法，等等。

本書可供測井技術工人學習用，也可供測井技術人員和各有關院校學生學習參考。

統一書號：15337·787

研究油井技術情況的

地球物理方法

北京石油學院油礦地球物理生產實習隊編

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油（書局內））

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

850×1168 $\frac{1}{2}$ 開本 * 印張4 $\frac{1}{4}$ * 103千字 * 印1—2,000冊

1959年11月北京第1版第1次印刷

定價（10）0.68元

序 言

油矿地球物理是一門年青的科学。解放后几年来，在党的领导下，在苏联的无私帮助下，这門科学才得到了蓬勃的发展。到目前为止，我国自己出版的比較全面介紹油矿地球物理的書籍还很少。去年秋，北京石油学院地球物理测井专业四年級到玉門实习的学生，在党的领导下破除迷信、鼓足干劲，同玉門测井站的工人一起編成了“电法测井技术”和“研究油井技术情况的地球物理方法”两本書。在編写过程中，同学们分队分組深入到工人中去，通过个别請教、詢問、了解、座談和作报告等形式同工人们打成一片，整理了玉門油矿过去几年来总结的資料，系統地总结了工人們的經驗。經小队討論后再交給工人和技术人員审閱、提意見。然后根据他們的意見再作补充和修改才完成了初稿。1960年初，地球物理教研室部分教师將初稿加以整理和修改，並补充了四川实习队同学写的講义中的內容。第一分册定名为电法測井技术，書中介紹了玉門油矿所用的測井仪器：AKC/Л-51型、AKC/Л-50型和匈牙利EL全自动測井仪器的原理、結構和操作方法。还介紹了进行測井工作常遇到的事故。第二分册定名为研究油井技术情况的地球物理方法，介紹了常用的各种井下仪器、射孔器、井壁取心器和爆炸器的原理、結構和工作方法，並介紹了电測井和放射性同位素在油井技术中的应用。为了便于具有初步实际工作經驗的工人同志和中技水平同志們的閱讀，書中着重敘述了仪器的原理、結構和工作方法。在某些地方也介紹了一些必要的理論。

“电法測井技术”和“研究油井技术情况的地球物理方法”这两本書是工人、学生、教师三結合的产物。它也是具体地貫徹了教育同劳动生产相結合、理論同实际相結合、知識份子同工友羣众相結合的方針的产物。这对于我們來說，还是一个新的嘗試。因为我們水平和時間的限制，書中一定会有很多的漏洞和錯誤，尚希讀者指正。

目 录

序言

第一章 井下仪器	1
第一节 井径仪	1
一、电阻式井径仪的线路原理	2
二、电阻式井径仪的构造	5
三、井径仪的技术规格	8
四、井径仪的地面校验	9
五、井径仪的故障	10
六、井径曲线质量的检查	11
七、井径测量的应用、井径仪的保养、安全操作	11
第二节 测斜仪	13
一、ИШ-2 型测斜仪	13
二、ИШ-4 型测斜仪	26
第三节 井温仪	33
一、井温仪的线路原理	33
二、井温仪的构造	37
三、井温仪的应用	37
四、井温仪的校验	39
五、井温测量应注意事项	41
六、井温仪的维护	41
第四节 井内流体电阻计	43
一、井内流体电阻计的原理和构造	43
二、井内流体电阻计的校验	45
三、井内流体电阻计的故障和修理	47
四、井内流体电阻计的用途、操作和维护	48
五、格罗兹宁斯基型的井内流体计	49
第五节 复式综合下井仪	50

第六节 电纜	52
一、电纜的性質和用途	52
二、电纜的类型	53
三、电纜的构造	58
四、电纜的使用和維護	59
五、电纜的修理和連接	60
第二章 技术測井	63
第一节 工程測井和事故測井	63
一、套管断裂	63
二、断鑽桿(測魚頂)	64
三、套管漏水	68
第二节 放射性同位素在油井技术中的应用	70
一、測定固井时水泥返回高度	70
二、检查注水質量	71
三、检查用火油水泥封水层的效果	72
四、检查压裂效果	73
五、用同位素子弹确定射孔深度	74
第三章 射孔、爆炸和井壁取心	74
第一节 油气井射孔器常使用的炸藥	75
一、爆炸和炸藥的一般知識	75
二、有烟火藥和无烟火藥	79
三、炸藥的性能和用途	82
四、爆炸材料	84
第二节 射孔器、爆炸筒和井壁取心器的构造、原理和用途	88
一、子弹式射孔器	88
二、魚雷式(ТНК型)射孔器	91
三、聚能噴流射孔器	93
四、井壁取心器	99
五、爆炸筒	101
第三节 装藥工作	102
一、装炮車間(装藥工場)	102
二、射孔器爆炸筒和井壁取心器的装藥工作	106

三、聚能噴流射孔器的安裝方法	111
第四节 野外工作	117
一、出发前的准备和井場的布置	117
二、射孔深度的計算	118
三、井口人員同絞車、点火人員的配合	124
四、井場的結束工作	125
第五节 事故、故障和安全措施	125
一、事故、故障和解除的办法	125
二、爆炸、射孔和井壁取心工作的安全措施	128
第六节 結束語	130

第一章 井下仪器

第一节 井径仪

在钻井的过程中，由于泥浆对井的浸泡和钻头、钻杆在井内的活动，由于地层性质的不同、岩层的膨胀，常使井眼直径同钻井时所用的钻头直径不一样。一般都是大于钻井时所用的钻头直径。但是，为了进行地球物理解释和研究油井的技术情况，是需要了解不同深度井径的大小的。因此，就需要进行井径测量。下面，我们谈谈井径改变的原因。

1. 泥浆对井的浸泡和冲洗作用

1) 某些岩层具有很大的吸水作用，如钻井用的是水基泥浆时，岩层便吸水、膨胀使井径减小。

2) 也有些岩层（如岩盐）易被泥浆溶解，造成洞穴使井径变大。

3) 当泥浆遇到松软的地层时，井壁岩层就会被循环的泥浆冲刷而塌落，使井眼加大。

4) 某些渗透性大的岩层（如砂岩层），泥浆滤液会渗入其中，在井壁上沉淀下了泥浆的固体部分，构成泥饼。因此，就缩小了井径。

2. 钻头、钻杆在井内活动的作用

1) 起下钻时钻头碰撞地层，使岩层破碎。

2) 钻进过程中，钻杆摇摆碰岩层，使岩层松散而掉落，加大了井眼。

3. 由于温度的改变，岩层膨胀，缩小了井眼。

在井径测量中，目前现场常采用的有电阻式井径仪。这种井径仪又分作电桥式(CKC-2型)和线滑电阻式(CKC-4型)两种。另

外还有单芯电缆井径仪、菱形井径仪和感应井径仪等。

一、电阻式井径仪的线路原理

1. 电桥式井径仪 这种井径仪的工作原理见图1。当井径腿1变化时，可变电阻6便随着变化，它们之间的关系是这样来选定：使井径变化正比于可变电阻的变化。采用的线路是惠斯登电桥（见图2）。 R_c 是两个固定电阻，它们的数值相等。 R_x 是两个

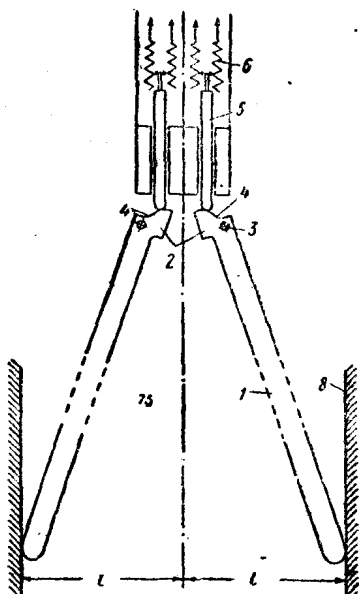


图1 电阻式井径仪的工作原理

1—腿的长端；2—腿的短端；
3—腿的轴；4—凸轮；5—连
桿；6—可变电阻器；7—仪器
轴；8—井壁。

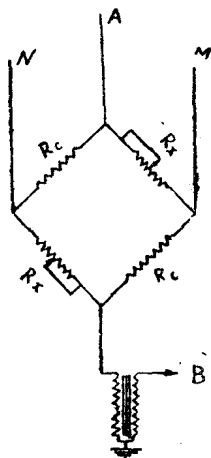


图2 电桥式井径仪测量线路图

可变电阻，它们的数值也相等。可变电阻随井径腿的变化而变化。而且使这两个可变电阻的变化值相等。这样，电桥两边线路电阻始终相等。当AB间供电电流是 I 时，流经两边线路的电流大

小都是 $1/2$ 。

电桥臂的固定电阻和可变电阻是这样选定的：当井径某一起始直径是 d_0 时， $R_x = R_c$ 。这时电桥平衡，没有电位差。当井径随井径的不同而变化时， R_x 随着变化， $R_x \neq R_c$ 。这时电桥就失去了平衡。因此， MN 間就产生了电位差。这个电位差的大小同 R_x 变化成正比， R_x 的变化是同井径变化成比例。所以电位差的大小就同井径的大小成正比。因此，通过电位差的变化就可了解井径的变化。它們的关系是：

$$\Delta R = \beta \Delta d,$$

$$\Delta d = d - d_0,$$

$$\Delta R = R_c - R_x.$$

式中 β ——比例常数；

d ——井径的任意值。

当破坏了平衡时， M 点和 N 点处的电位是：

$$V_N = V_A - \frac{1}{2} R_c, \quad V_M = V_A - \frac{1}{2} R_x,$$

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N$$

$$= -\frac{1}{2} (R_c - R_x)$$

$$= -\frac{1}{2} \Delta R$$

$$= -\frac{1}{2} \beta (d - d_0), \quad (1)$$

$$\therefore d = d_0 + \frac{2}{\beta} \cdot \frac{\Delta V_{MN}}{I}. \quad (2)$$

設 $C = \frac{2}{\beta}$ ， C 是仪器常数，这个常数对每一个仪器是不一

样的。則：

$$d = d_0 + C \cdot \frac{V_{MN}}{I} \quad (3)$$

若所取的起始井径 $d_0 = 0$ 时, 则

$$d = C \cdot \frac{V_{MN}}{I} \quad (4)$$

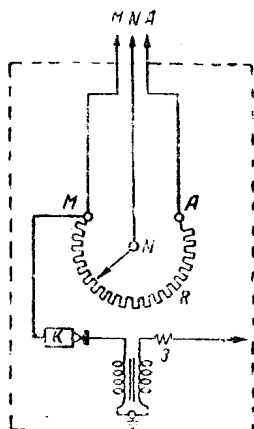


图 3 滑线式井径仪
测量线路图

C 是常数, I 电流是固定的, 所以井径 d 同 MN 间的电位差 V_{MN} 成正比。

2. 滑线式井径仪 这种井径仪的工作原理基本上同前面所谈电桥式井径仪, 但采用的线路不是桥式, 而是单一的滑线电阻 (见图 3)。当井径腿张开或缩小时, MN 间的电阻改变, 也就是 MN 间的电位差的改变, 从而测量井径的变化。从图上可以看出, 当 AB 间供电电流是 I , 那么流过 MN 两点间的电流也是 I 。它们的关系是:

$$IR = \beta d,$$

$$d = d_0 + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{V_{MN}}{I}.$$

$$IR = R_N - R_M,$$

$$V_M = V_A - IR_M,$$

$$V_N = V_A - IR_N,$$

$$V_{MN} = V_M - V_N,$$

$$= IR$$

$$= I\beta (d - d_0). \quad (5)$$

$$\therefore d = d_0 + \frac{1}{\beta} \cdot \frac{V_{MN}}{I}. \quad (6)$$

设 $C = \frac{1}{\beta}$, C 是滑线式井径仪仪器常数。每架仪器都有一

定的仪器常数 C 。

二、电阻式井径仪的构造

仪器的构造见图4。最上是仪器头1，用来连接电缆，并当作仪器的上盖；中间2是测量部分；下部3是四条仪器支柱，用

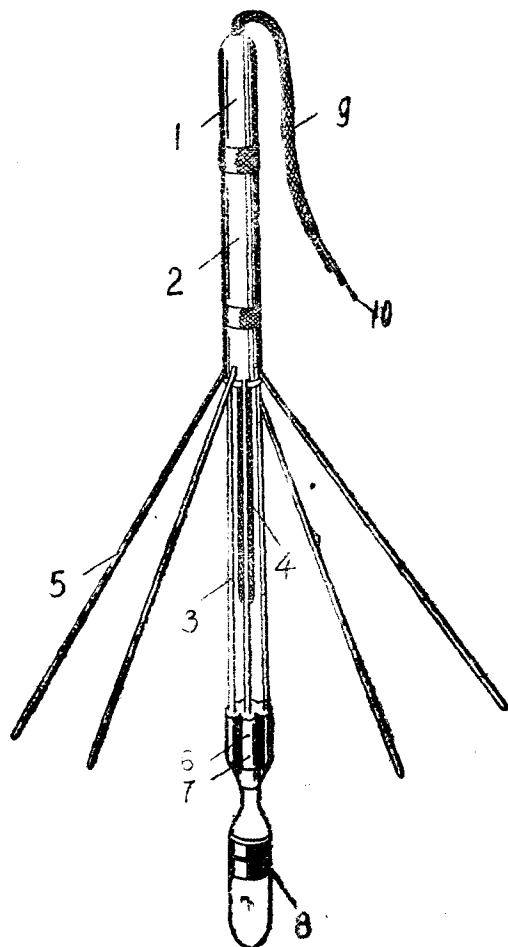


图4 井径仪外貌

来支撑仪器本体；在四个仪器支柱中间是压力补偿器4，它是用

一个硬橡皮管作成的。我們知道，在井內，仪器要受到很大压力的

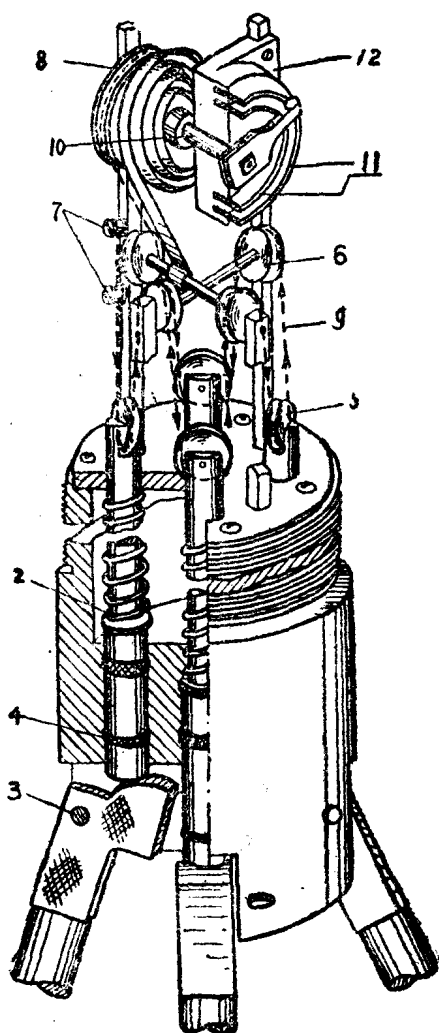


图 5 CKC电阻井径仪内部构造

皮圓环 4，它的作用是避免泥浆压入仪器的内部，使仪器絕緣遭破坏）。当拉桿上下移动，使它上面安装的固定小滑輪 5 上下移

的，为了使仪器在井中时仪器内外压力平衡，使仪器不致因内外压力不平衡而损坏。同时，也为了防止因压力不平衡外部压力大于内部压力泥浆易于压入仪器内部致使仪器的絕緣破坏，所以需用压力补偿器。压力补偿器的橡皮管内盛有变压器油，用来传递压力使内外压力达到平衡。在仪器支柱間有用來量計井径的井径腿 5 四条。仪器最下部有两个小孔 6、7，較小的孔是接地綫用，另一較大的是裝置炸藥、雷管用的。最下的是重錘 8，用来打开井径仪的腿。

仪器的内部构造見图 5。在拉桿 13 上繞有彈簧 2，它的作用是使井径腿能緊貼井壁。当井径腿张开或縮小时，偏凸輪繞軸 3 轉动，頂着它上面的拉桿上下移动（拉桿上有橡

动。每一个拉桿上都装有一个小滑輪，共四个。另外还有四个小滑輪6，它們固定在錐形桿上。鋼絲繩一端固定在固定架7上，另一端繞过八个小滑輪固定在鼓形輪8的孔中，随着八个滑輪的动作而拉紧或放松（由于鼓形輪上的彈簧作用，捲紧鋼絲繩）。当鋼絲繩伸縮时，鼓形輪就轉动，随即軸10也轉动。这样，就带动固定在軸上的接触銅片在两个环形电阻11上改变位置。因此也就改变了电阻 R_x 的大小。环形电阻11固定在支架12上。

打开仪器腿（下井时要束起仪器腿）的方法：目前現場用的方法有：一种是用罐頭盒束紧仪器腿（可以將錐形重錘去掉）。当上提仪器时，靠泥浆向下的压力使罐頭盒脫落，把腿打开。这种方法在构造上用不着再加什么东西。另一种是当仪器下放到井底靠冲撞力，使束腿繩张开或折断以打开井径腿。这种方法就是在仪器的最下部还有一个能上、下移动的重錘，重錘的上部是錐形的。重錘是用来挤开井径腿用的。另外，它也起了加重的作用。这种方法只能应用在仪器下放到井底，靠冲击方能打开井径腿。另一种是利用放炮爆炸打开井径腿的。它是用在下井仪器下放到井的任何位置时打开仪器腿的。在构造上，仪器要加上一个引火变压器和爆炸的炸藥和雷管。引火变压器的作用是使爆炸时能得到較大的交流电，同时也防止因爆炸产生的感应电流影响測量綫路。

爆炸法需要通較大交流电，对仪器不利，工作时也較麻煩，一般都沒有采用。用錐形重錘撞击法在一般情况下还是有效的。但在泥浆粘度很大的井下就不容易撞开井径腿。如果只需要測量井中某一段井径时，撞击法只有当井径仪到达井底时才有效，这样就需耗費很多非生产時間。但用罐頭盒方法就很方便。因此，現場用得最多的是罐頭盒打开法。但如果井下情况不很好，仪器要遇阻，利用这种方法就不好。因为一旦遇阻上提仪器时腿自然也打开了，就不能再下。

三、井径仪的技术规格

1. 电桥式

- 1) 型式是CKC-2型。
- 2) 井径仪变化的最大限度是76厘米。
- 3) 当灵敏度是1毫伏/1厘米时，工作电流是3毫安。
- 4) 最大工作电流是50毫安。
- 5) 变压器部分的初级线圈直径0.2毫米、2100圈，次级线圈直径0.3毫米、140圈。
- 6) 引火用的交流电压是220伏，时间不能超过5秒。
- 7) 电桥电阻 $R_c=60$ 欧姆，导线直径0.15毫米； $R_x=65$ 欧姆；导线直径0.20毫米。

- 8) 仪器耐受350个大气压。
- 9) 绝缘电阻大于50兆欧。
- 10) 井径仪的允许误差是 ± 1.5 厘米。

2. 滑线式

- 1) 型式是CKC-4型。
- 2) 测量范围是10—80厘米。
- 3) 灵敏度是1毫伏/1厘米时，工作电流是2.3毫安。
- 4) 测量时井径仪的允许误差是 ± 1.5 厘米。
- 5) 最大工作电流是20毫安。
- 6) 变压器部分的初级线圈直径0.2毫米、2100圈，次级线圈直径0.3毫米、140圈。
- 7) 电阻直径0.25毫米， $R=37$ 欧姆。
- 8) 引火用电压是220伏，时间不能超过5秒。
- 9) 仪器耐受400个大气压。
- 10) 仪器绝缘大于50兆欧；当温度 80°C 时仪器绝缘应大于5兆欧。

四、井径仪的地面校驗

由公式 $d = d_0 + C \frac{\Delta V}{I}$ 可以知道，当測井时通入已知电流强度要想根据所測得的电位差求出井径变化，就必须知道 C 和 d_0 值。但是仪器經過一定時間的使用、特别是在修理后仪器的特性往往会改变(C 、 d_0 发生变化)。另外，为了保証測得可靠資料，以及避免在井場工作时临时发生問題，应该定期地对仪器进行校驗。例如每次出发前要进行检查和校驗。校驗的方法是在已知井径腿直径的情况下反过来求 C 值和 d_0 值。校驗的步骤如下：

1) 区分 A 、 M 、 N 纜芯。紧閉井径腿，用万用表分別量两纜芯間的电阻。对电桥式的井径仪來說，沒有引火变压器时电阻最大的二纜芯就是 MN 。如有引火变压器时，电阻最大的二纜芯是 AB 。对滑綫式的井径仪來說，电阻最小的二纜芯是 MN 。

2) 检查井径的絕緣。

(1) 电桥式井径仪。抽出同外壳相联的地綫，使外壳絕緣，用搖表測 A 纜芯同外壳之間的絕緣电阻，不小于50兆欧就可以。

(2) 滑綫式井径仪。倒轉仪器，使仪器内部綫路同地(外壳)相联的开关打开，測 A 纜芯同外壳的絕緣，电阻也不小于50兆欧。

3) 將井径仪放在校驗架上(見图6)，並按图

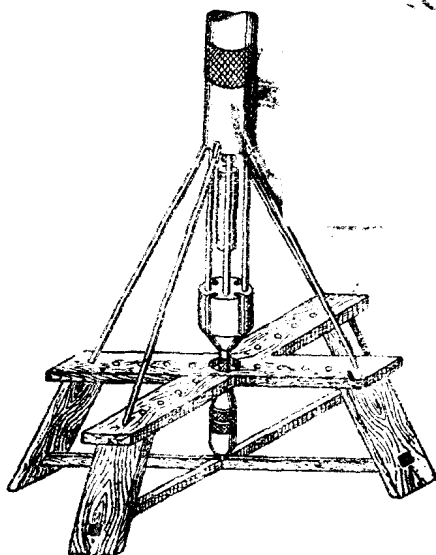


图 6 井径仪校驗架

7 接好綫路，將井徑腿放在最小直径的孔內。

4) 校驗 A 、 B 綫路中的电流。如 A 、 B 綫路中通 2 毫安电流，調节可变电阻 R ，使在 10 欧姆电阻两端测得得电位差是 20 毫伏。

5) 測量 MN 間的电位差，逐漸增大井徑腿，每次改变一孔。並測量电位差，每次記下直径 d 和 ΔV 。

6) 用 ΔV 作縱座标、 d 作横座标画出座标图，並繪出校正綫。曲綫同横座标零伏特綫交点，就是 d_0 。

C 值的求得。在曲綫上任取两点，电位差变化是 ΔV_1 、 ΔV_2 ，井径大小的变化相应是 d_1 、 d_2 。

$$\text{代入公式} \quad d_1 = d_2 + \frac{C(\Delta V_1 - \Delta V_2)}{I}$$

$$\text{就可求得} \quad C = \frac{I(d_1 - d_2)}{\Delta V_1 - \Delta V_2}$$

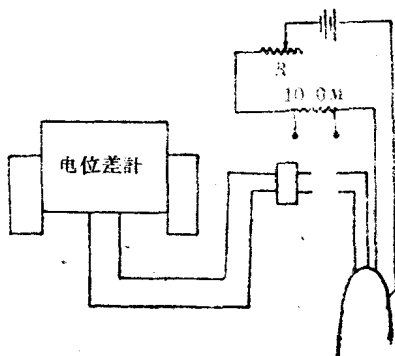


图 7 井径仪校驗綫路图

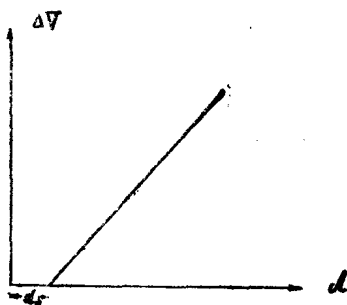


图 8 $\Delta V-d$ 关系曲綫

在校驗中，四腿必須在同一个圓周上，否則量測的結果有誤差。

五、井徑儀的故障

1) 光点摆动、測量的結果不准的原因是：絕緣不好发生漏电，仪器內部不清洁，变压器油变質，泥浆压入仪器內部，可变

电阻的滑动接触片接触不良。

2) 井径腿直径变化时, ΔV 不变化, 光点在示波仪上的位置不变。原因是: 传动用的小鋼絲繩断了; 轉动軸的小螺釘沒有上紧, 接触片不随轉軸轉动; 測量腿上的彈簧失去彈性; 电路中沒有电流流过; 鼓形輪上的彈簧断了; 电阻器短路; A接头同綫路联接的導綫发生破裂。

3) 測量时 ΔV 发生不正常的变化、光点跳动的的原因是: 可变电阻的滑动接触片接触不良, 可能是接触片不平、頂头小、螺絲沒有上紧、电阻絲损坏; 内部綫路有接触不良的地方; 絞車滑环接触不良, 这时 ΔV 光点跳动是有週期性的; 漏电; 綫路上用旧電池, 电流强度不夠, 不能保持穩定。

4) ΔV 数值有过大現象、光点偏移很大的原因是: 井径仪中电桥两臂之一短路; 可变电阻的两滑动接触片短路; 滑动接触片接触不良; 电路中有短路的地方; M、N、A接头不对。

5) 測出的 ΔV 值同井径的变化呈非綫性关系的原因是: 有一个測量腿弯曲; 測量腿上的偏凸輪磨損形状不一; 測量腿的彈簧彈性变弱。

六、井徑曲綫質量的檢查

检查井径曲綫图上套管直径是不是变化, 是不是等于套管的实际内径大小。如果井内进行过測量, 就將过去測得的井径曲綫对比一下, 虽然井径随時間变化, 但曲綫上的特性一般还保存着。致密岩层的井径曲綫應該近于直綫, 从井径曲綫不能得出比鉆头直径小很多的数值。井径曲綫上不能得出小于仪器本身直径的数值。

七、井徑測量的应用、井徑儀的保养、安全操作

1. 井徑測量的应用

1) 決定套管的水泥量和高度。井径的計算一般采用数小格或