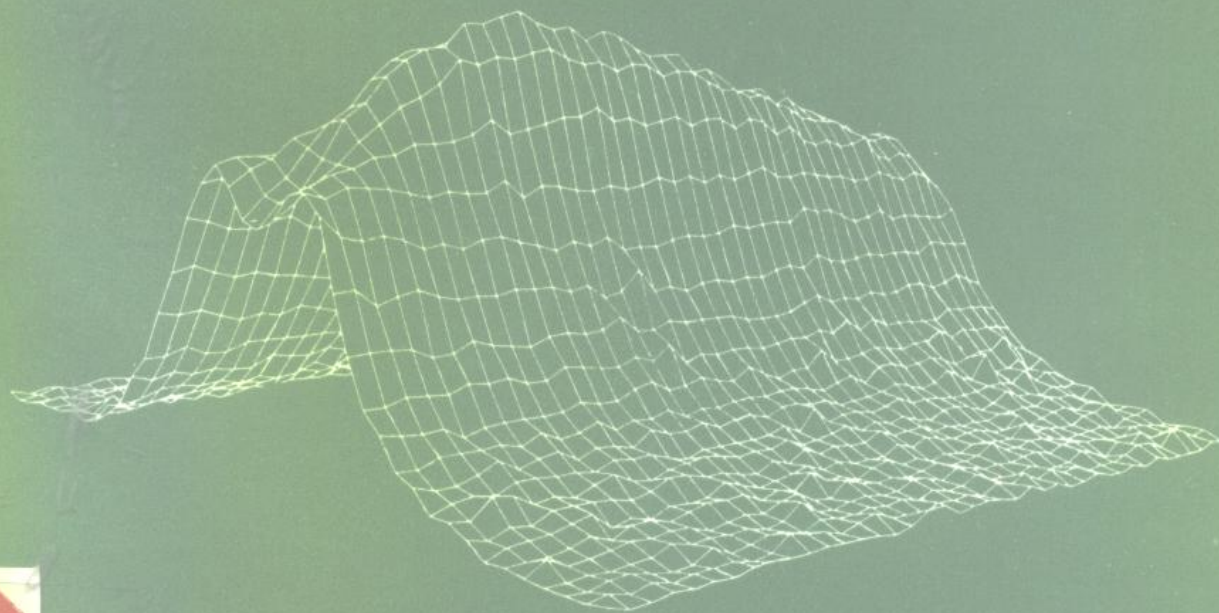


〔美〕 斯仑贝谢公司

生产测井解释 及其流体参数换算



北京)

石油工业出版社

生产测井解释及其 流体参数换算

〔美〕施伦贝尔公司

陆凤根 马贵福 译 姜文达 校订

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书由Schlumberger测井公司的《Production Log Interpretation》(1973年版)与《Fluid Conversions in Production Log Interpretation》(1974年版)两本书合译而成的,后者是前者的补充。因此,我们将这两本书合为一本出版,并将部分章节做了调整、编排。

本书较系统地介绍了生产测井在油田开发中的作用,针对不同的生产井的储集层情况、注水井的水动力情况及井的技术情况,如何合理的配备生产测井系列,如何对所测资料进行精确的解释,以及因压力、温度等因素的影响所进行的流体参数的换算,都做了详细的介绍。书中文图并茂,实例丰富,是一本对我国生产测井工作有很大参考价值的书。

本书可供测井、试井、油田地质和油藏工程的技术人员及大专院校有关专业师生参考。

* * *

本书的第一~第六章由陆凤根翻译,第七~第九章由马贵福翻译。本书在译校过程中得到乔贺堂、贾修信、崔耀南等同志帮助,对此一并表示感谢。

生产测井解释及其 流体参数换算

〔美〕施伦贝尔公司

陆凤根 马贵福 译 姜文达 校订

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

通县印刷厂排版

北京顺义燕华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 8³/₄印张 2 插页 214千字 印3,001—4,000

1983年7月北京第1版 1995年8月北京第2次印刷

ISBN 7-5021-1502-1/TE·1299

定价: 8.00元

符号和略语

符号	说	明	符号	说	明
A	面积		γ_g	是气的比重, 对空气来说等于1.0	
A_{GR}	放大的压差密度计读数		足码		说
B	地层的体积系数		air	空气	
c	压缩系数		b	泡点	
C	浓度		f	流体	
C_f	井内流体的比热		F_g	游离气	
CUFT	英尺 ³		g	气体	
C_v	流速的校正系数 ($= \bar{v}/v$ 流量计)		G_r	压差密度计	
d	直径		h	井眼	
F	压差密度计的摩擦系数		lig	液体	
F_{BC}	盐水校正系数 (用于气的溶解度)		m	混合物	
gm/cc	克/厘米 ³		NaCl	盐 (氯化钠)	
h	高度、流体压头		o	油	
RTS	探测器的垂直距离		pc	拟临界 (压力或温度)	
K	压差密度计的动力系数		pr	拟折合 (压力或温度), $p_{pr} = p_{wf}/p_{po}$	
k	气溶解度的校正系数, 图版 $F_{go}-2$ 中的气溶解度的校正系数			$T_{pr} = T_{wf}/T_{po}$	
m	质量		s	滑动、地表、溶解气	
N_{Ro}	雷诺数		sb	泡点压力下的溶解气	
p	压力		sc	标准条件	
q	流量		s_w	溶解气/水 (例 R_{sw} 溶解气-水比)	
R	油气比 (同GOR)		t	总量	
R'	游离气加上油中溶解气与油的比 $R' = (q_{gsc} - q_{wsc} R_{sw}) / q_{oso}$		w	水	
R_{fgw}	游离气-水比		wf	产液井	
R'_{sw}	淡水中的溶解气与水的比值		ws	静态井	
T	温度		x	临界速度、流量计转子	
t	时间		略语		说
V	体积		B/D	桶/天	
v	速度		BHP	井底压力	
$\bar{v}$	表观速度		BHT	井底温度	
w	重量		BOPD	桶油/天	
y	持液率①		BWPD	桶水/天	
z	气体压缩偏差系数		cf/B	英尺 ³ /桶	
ρ	密度		cf/D	即 cuft/D, 英尺 ³ /天	
μ	粘度		FBS	全井眼转子流量计	
γ	比重: γ_o 是油在 °API 单位下比重		FVF	地层体积系数	
			GOR	油气比 ($= R$)	

①在单位长度的管内, 液体流动时, 悬持的某相液体体积与流体总体积之比称之持液率 (有的译为存容比)。若某相液体是水, 就是持水率, 若是油就是持油率。——译者注

GWR 气水比
Mcf/D 10^3 英尺³/天
MMcf/D 10^6 英尺³/天
PFM 封隔器流量计
Psia 磅/英寸²(绝对)
Psig 磅/英寸²(压力计)
PVT 压力-体积-温度

rps 转/秒
RTS 放射性示踪测井
sc 标准条件, 即
 14.7磅/英寸²(绝对), 60°F(520°R)
 1.033公斤/厘米², 15.56°C(288.56°K)
scf 标准条件下的英尺³气体
TC 时间常数

目 录

符号和略语	
第一章 概述	(1)
一、导言	(1)
二、测井方法	(1)
三、测井目的	(2)
四、一般结论	(3)
五、垂直管流	(3)
六、流型、持水率和滑动速度	(6)
七、结论	(10)
第二章 生产测井仪器与解释	(11)
一、现场刻度的连续流量计或全井眼转子流量计资料的解释	(11)
二、封隔器流量计的测井解释	(15)
三、压差密度计的测井解释	(15)
四、持水率计的测井解释	(16)
五、动态条件下的井温测井解释	(16)
六、静止条件下的井温测井解释	(20)
七、放射性示踪测井——速度法	(21)
八、放射性示踪测井——定时法	(22)
九、放射性示踪测井——未知井径法	(22)
十、其它仪器	(24)
第三章 低流量井	(25)
一、见水油井中压差密度计测井分析	(25)
二、高含水油井中封隔器流量计与压差密度计测井分析	(28)
三、评价完井情况	(30)
四、注水井放射性示踪速度法测井	(35)
五、生产井井温测井	(38)
六、注水井井温测井	(38)
第四章 高流量井	(40)
一、污水回注井	(40)
二、评价新气井的完井情况	(42)
三、新气井绝对敞喷流量的计算	(42)
四、油气比超过规定的生产井	(49)
五、高含水的生产井	(49)
六、套管外面的窜流	(51)
第五章 生产测井的有关事项	(53)
一、井的条件	(53)
二、地面产量	(53)
三、储集层参数	(54)
四、重复测井	(54)
五、测井井段	(54)
六、生产测井的计划工作	(54)
参考文献	(55)
第六章 资料的来源	(56)
一、用户提供的资料	(56)
1. 标准条件下的地面流量	(56)
2. 井下流体参数	(56)
3. 机械性能	(57)
4. 流体的固有参数	(57)
5. 一般资料	(57)
二、测井前计算的数据	(58)
三、由测井获得的资料	(58)
1. 液相	(58)
2. 流型	(58)
3. 流体参数的换算问题	(58)
第七章 流体参数的换算	(59)
一、气体的地层体积系数 B_g	(59)
二、气体的偏差系数 Z	(61)
三、气体的密度	(64)
四、气体的粘度 μ_g	(65)
五、生产油气比 R	(66)
六、泡点压力 P_b	(66)
七、溶解油气比 R_s	(67)
八、生产游离油气比 R_{fg}	(69)
九、原油的地层体积系数 B_o	(73)
十、油的密度 ρ_o	(73)
十一、油的粘度 μ_o	(75)
十二、溶解气-水比 $R_{s,w}$	(76)
十三、水的密度 ρ_w	(78)
十四、水的地层体积系数 B_w	(79)
十五、水的粘度 μ_w	(79)
十六、油水混合液粘度	(80)
第八章 换算实例	(81)
实例1 注水量(公制单位)	(82)
实例2 产气量(英制单位)	(82)

实例 3 天然气(公制).....	(84)	二、表10-1 公制、API制与美制度量单 位的换算.....	(112)
实例 4 气和水(英制).....	(86)	三、表10-2 平均流速与套管尺寸大小 的关系.....	(116)
实例 5 无游离气的油与气(英制).....	(88)	四、表10-3 平均流速与油管尺寸大小 的关系.....	(118)
实例 6 有游离气的油与气(英制).....	(90)	五、图版10-2 封隔器流量计转子响应图 版.....	(119)
实例 7 油、气与水(公制).....	(92)	六、图版10-3 低流量封隔器流量计转子 响应图版.....	(119)
实例 8 油、气与水(英制).....	(94)	七、图版10-4 压差密度计摩擦效应图版	(120)
第九章 流体参数换算的图版和诺模图	(96)	八、图版10-5 滑动速度与密度差的关系	(120)
一、图Fg-1 已知 V_{geo} 、 γ_g 、 p_{wf} 与 T_{wf} 求 V_{gwf}	(97)	九、泡流图版10-6~10-13与数据表	
二、图Fg-2 已知 γ_g 求 T_{pc} 与 p_{pc}	(98)	十、表10-4 标准套管中不同流量(桶/ 天)下表观速度(英尺/分).....	(121)
三、图Fg-3 已知 p_{wf} 、 p_{pc} 、 T_{wf} 、 T_{pc} 求气体压缩性系数 z	(99)	十一、表10-5 不同流量(桶/天)下表观 速度(英尺/分),井径单位为英寸.....	(123)
四、图Fg-4 已知 p_{wf} 、 T_{wf} 与 z 求 $1/B_g$	(100)	十二、表10-6 标准套管中不同流量(10^3 英尺 ³ /天)下的表观速度(英尺/分)	(124)
五、图Fg-5 已知 γ_g 与 $1/B_g$ 求 ρ_{gwf}	(100)	十三、表10-7 不同流量(10^3 英尺 ³ /天) 下的表观速度,井径单位为英寸.....	(125)
六、图Fg-6 已知 p_{wf} 、 γ_g 与 T_{wf} 求 μ_{gwf}	(101)	十四、图示10-1 如何使用产量比图版.....	(127)
七、图Fgo-1 已知 T_{wf} 、 q_{geo} 、 q_{oso} 、 γ_o 、 γ_g 求 p_b	(102)	十五、图版10-14 产量比图版.....	(127)
八、图Fgo-2 已知 p_{wf} 、 p_b 求 k	(102)	十六、图版10-15 确定滤液的污染.....	(129)
九、图Fgo-3 已知 R_{sb} 、 γ_g 、 γ_o 与 T_{wf} 求 B_{ob}	(103)	十七、图版10-16 NaCl溶液的电阻率.....	(130)
十、图Fgo-4 已知 γ_g 、 γ_o 、 R_{sb} 与 T_{wf} 求 B_{ob}	(104)	十八、图版10-17 井内无仪器时不同规格 的管子中平均流速与流量的关系.....	(131)
十一、图Fgo-5 已知 ρ_{ob} 、 p_{wf} 、 p_b 、 B_{ob} 求 B_o	(105)	十九、图版10-18 井内有1—11/16英寸 仪器时不同规格的管子中平均流速 与流量的关系.....	(132)
十二、图Fgo-6 已知 γ_g 、 R_s 、 γ_o 、 B_o 求 ρ_{owf}	(106)	二十、图版10-19 井内有2—1/8英寸仪 器时不同规格的管子中平均流速与流 量的关系.....	(133)
十三、图Fgo-7 已知 T_{wf} 、 p_b 、 p_{wf} 、 γ_o 、 R_{sb} 求 μ_{owf}	(107)	参考文献	(134)
十四、图Fgw-1 已知 p_{wf} 、 T_{wf} 与总含盐量 求 R_{gw}	(108)		
十五、图Fw-1 已知 C_{NaCl} 、 p_{wf} 、 T_{wf} 求 ρ_{wfw}	(109)		
十六、图Fw-2 已知 C_{NaCl} 与 T_{wf} 求 μ_{wfw}	(110)		
第十章 生产测井解释图版与数据表	(111)		
一、图版10-1 在泡点压力或井底压力下 的溶解油气比 R_s	(111)		

第一章 概 述

一、导 言

生产测井的目的是给人们提供在产液或注水过程中有关井内流体的特性与状态的详细资料，而这些资料关系到该井的有效利用。其主要的用处有：

1. 尽早地评价完井效果；
2. 尽早地测定井内故障，而这些故障靠地面测试是难以搞清楚的，例如漏失层，水泥串槽、射孔孔眼堵塞等；
3. 取得生产层与注水层的详细资料；
4. 更好地监控储集层的产量；
5. 研究水侵、油井见水、油水界面推进与机械漏失等情况；
6. 评价注水效果；
7. 为修井、油井大修和二次或三次采油方案提供依据。

二、测 井 方 法

虽然生产测井称为测井的一个分支，但并非绝对的。任何在套管井中能测出有用资料的测井方法都可作为生产测井项目，其中热中子衰减时间测井(TDTTM)就是一例。相反，被认为主要是作生产测井的高分辨井温测井仪也时常用作其他目的的测井项目。

但还是存在着一系列仪器，它们主要用于生产井与注水井的动态测井。这些仪器的测井称为生产测井，是本书所要叙述的内容。生产测井包括如下各种测井仪器：①

1. 井温测井仪；
2. 压差密度计；
3. 全井眼流量计；
4. 连续流量计；
5. 封隔器流量计；
6. 压力计；
7. 井径仪；
8. 持水率计；
9. 放射性示踪测井。

近来组合测井仪器的出现使得在一次下井过程中可以同时测量多个参数，这既可以使几种不同的测井在基本相同的井况下进行，又可避免分开测量时必须中断生产或注水而造成

①要说明的是上述各种仪器在测井时，通常要连接套管节箍定位器与阿梅瑞达(Amerada)压力计，前者用于各次测井资料的深度校正。

的测量差异。这些仪器的一些详细说明见表 2-1，更加完整的介绍见本公司的其他著作[1][2][3]。

三、测井目的

生产测井的重大价值在于它能在稳定的产液或注水条件下提供井内流体的流型。由于种种原因，使用其它来源的生产资料可能令人误解。这些原因有：

1. 地面测得的压力、温度与流量与井内情况不符；
2. 在套管外，例如水泥窜槽中的液体流动，只能用生产测井仪测定；
3. 射孔效果的层间测试需要经常确定流体流出或吸收的层段，除非使用生产测井，其它方法是不能完成的；
4. 在稳定的生产或注水条件下各有关变量的综合平衡是容易因为液体流动的中断而被扰乱。甚至关井几小时后测量也会给参数测量值造成严重的误差。除了使用生产测井外，在同样条件下要得到不同参数的现场测量值是不可能的。

生产测井应用两个广泛的领域：针对储集层的情况评价井的动态与分析机械故障。

生产测井大量应用于解决注水井的工艺问题与生产井的技术问题。但是，其中最具有前途的是掌握储集层的初期枯竭情况，通过系统的生产测井，掌握储集层的变化情况，有利于维持生产与长期开采。

储集层的特性

在生产井中，生产测井能够确定：(1) 产液的射孔层位；(2) 流体的类型与比例；(3) 井下温度、压力与液体流动速度。利用生产测井的资料使水淹井或气淹井恢复正常生产。它还能够准确地找到漏失层位与不希望有的井下流体循环。

在注水井中采用生产测井特别有效，这是由于注水井中的流体是单相，而且是已知和可以控制的。其通常的测井目的是确定水的注入部位与在水泥环中的漏失情况。

井的机械问题

相反，在缺乏资料的情况下，人们总是认为自己管理的井是水动力完整的，各种流体流动是正常的。实践一再证明这种设想是没有根据的。

一些可能发生的有：套管破损、油管破损、封隔器失灵、由于固井质量引

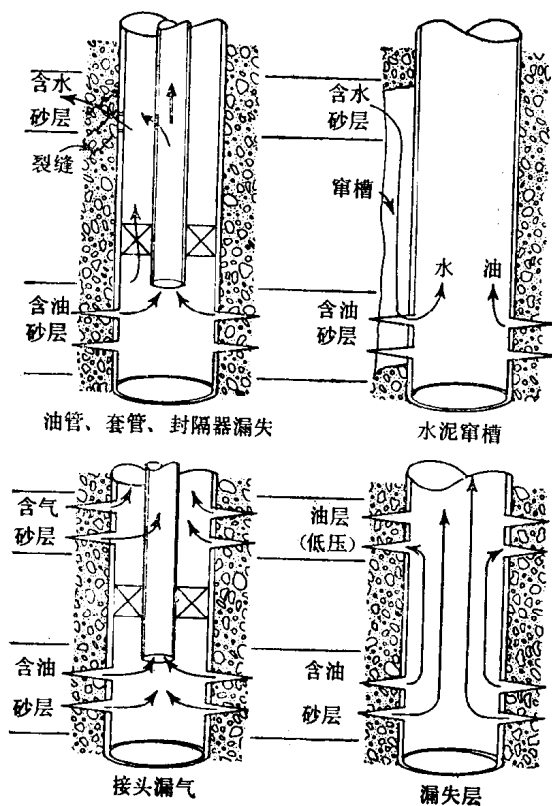


图 1-1 井的机械问题

起的水泥环窜流与漏失等。图 1-1 表明单独使用地面测试的资料是如何导致这些井下问题的错误结论的。使用生产测井就可以解决这一类与井有关的许多问题。

四、一般结论

生产测井能够提供一个完整的了解油层的产液流程图。

这些方法能够在单相流体(如注水井)与两相流体(油-水或气-水)井中进行定量分析,在三相流体的井中只能进行定性分析。应该记住的是地面的油、气与水的产量肯定不反映井下的三相流动型态,那里也许没有游离气。而且在大多数情形下游离气或油的产量少得足以忽略不计,在分析中可以采用两相流动型态的方法,即认为是油-水或气-水流动型态。要说明的是除非流量很大,否则水几乎总是其中的一个相。

虽然生产测井的测量精度是高的,但要知道定量解释的精度是有限的。有些变化是不能测量的,在一些地区必须作出简化了的假设。例如,希望通过分析来明确地区别500桶/天与520桶/天两种产量是不可能的。尽管如此其相对结果是很好的。一般在地面测量的流量是适用的,可以用它来对比和澄清生产测井的解释成果。而在任何情况下,研究井下的流动型态是最有意义的,而不是绝对产量。

但是在有利的条件下,生产测井解释能够提供精度比较高的定量解释数值。其精度主要取决于井下的流动型态,即是单相的还是多相的。

下面讨论垂直管道中流体流动的物理状态,以及用来分析这类问题的一些概念。

五、垂直管流

生产测井分析必须处理单相与多相两种流动系统。单相的流动系统通常存在于注水井与纯油或纯气生产井中。但是甚至在地面见不到井里出水的情形下,在井底附近也许还是两相状态。例如一口含水量极少的低产油气井,从井底到油管鞋的井筒里一定充满着水,产出的油气以泡状形式上升通过几乎是静止的水柱。

下面先讨论单相流动情形:

层流与湍流

通常单相流动分为层流与湍流两种类型。“层流”指一种顺滑流动,在这一种流动下的流体可认为是由许多无限薄的同心圆筒层组成的,每一层有一个平行于井轴的均匀速度,相邻两层之间有稍许不同的流速(见图1-2左)。湍流则是以紊乱的、不规则的、局部回旋液流(涡流)群为特征(图1-2右)。

在层流情形下,贴近管壁的液体是静止的而速度最高的流体在管心,其管内流体的流动速度的剖面图是一条抛物线。

在湍流的情形下贴近井壁的流体也是静止的,与层流情形一样贴井壁不动的流体是一个薄层。不同的是在湍流情形下,流体速度的剖面线比起层流情形下的要平坦得多。

实验指出,雷诺数(N_{Re})的大小决定流体流动的方式是层流还是湍流。 N_{Re} 的定义是:

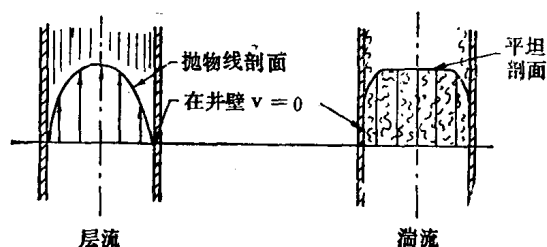


图1-2 层流与湍流的速度剖面

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{v} d}{\mu}$$

式中： ρ 是流体密度， μ 是粘度， d 是管道内径， $\bar{v}$ 是流体的平均（有时亦称表观）速度，由下列公式算出：

$$\bar{v} = \frac{4q}{\pi d^2} = \frac{q}{A}$$

这里 q 是体积流量， A 是管道的内截面积。

N_{Re} 的数值有一个相对的下限。低于该值就不会发生湍流。这数值大约是2000。高于2000是否会出现湍流，取决于流体不受扰动的程度。在孔道的入口处尤其是这样。通常，当 $N_{Re} \geq 4000$ 时，流体完全处在湍流状态。

在上述两种情形下，由流量计测到的速度大半是管心的速度，它大于流体的平均速度。这个矛盾由速度校正系数 C_v 来处理，这里 $C_v = \bar{v} / V_{\text{流量计}}$ 。此系数的大小是经验取定的。见图2-3的下面部分，在此建立了与流量的座标关系。通常这数值是不知道的，但在大多数情形下取 $C_v = 0.83$ 将得出满意的结果。如图2-4所示，这个校正也用到流量计的现场刻度图表中去了。

油井中流动参数的范围

井下原油的粘度一般在0.2~10厘泊的范围内，密度的范围在0.6~1.0克/厘米³之间。地层水的粘度为0.2~1.0厘泊，密度接近1.0克/厘米³。

在井下天然气的密度在0.05~0.2克/厘米³的范围内，粘度的范围在0.01~0.07厘泊之间。

在各种直径的管道内不同粘度流体的雷诺数与流量的关系如图1-3所示。该图说明在油井与气井中湍流是经常可出现的，至少在生产井段的上部是这样。另一方面，在生产低比重原油的浅井与出现油包水的乳状液井中，流体的粘度也许超过100厘泊，甚至1000厘泊以上，在这些情形下，就可能出现层流了。

流型

油、气与水在管道中向上流动时，它们的几何形态可分为几个基本的类型或流型。

由各种流体组成的流型的转变取决于几个参数，但是它主要取决于每相流体的按体积计算的相对流量。图1-4说明了液体-气体系统主要的流型。泡流相当于其中轻质相低流量的情形，而乳状与雾状流动表现为轻质相高流量的情形。

水与油的流型主要受相对产量的影响，而对于液体、气体的混合物，沿着流程的压力梯度则成为重要的了。考虑有溶解气的产油井，当原油在井里上升时，在泡点压力之上液柱的压力是逐步下降的；低于泡点压力时，气体析出，开始两相流动。

1. 首先，由于主要受气泡与油之间的密度差及油的粘度所支配的大致均匀分布的小气泡，在油相中以某一相对速度上升。这种流型称之泡状流动，如图1-4的左面所示。

2. 当流体上升时，压力进而下降，气泡膨胀。而且出现新气泡，大气泡上升速度比小气泡快，气泡的进一步合并形成更大的气泡，或者成为气块。其大小与井筒的内径一般大，这种流型称为段塞状流动。

3. 沿井筒向上，压力还要下降，气体流动的比例增加，气块连成一体在井筒中央上升，尽管大部分原油沿着井壁上升，上升的气体仍携带着一些油滴，这叫做沫状流动。

4. 向上压力再下降，气柱大小与气的流量将进一步增加，当气流速度很高时，流型将再

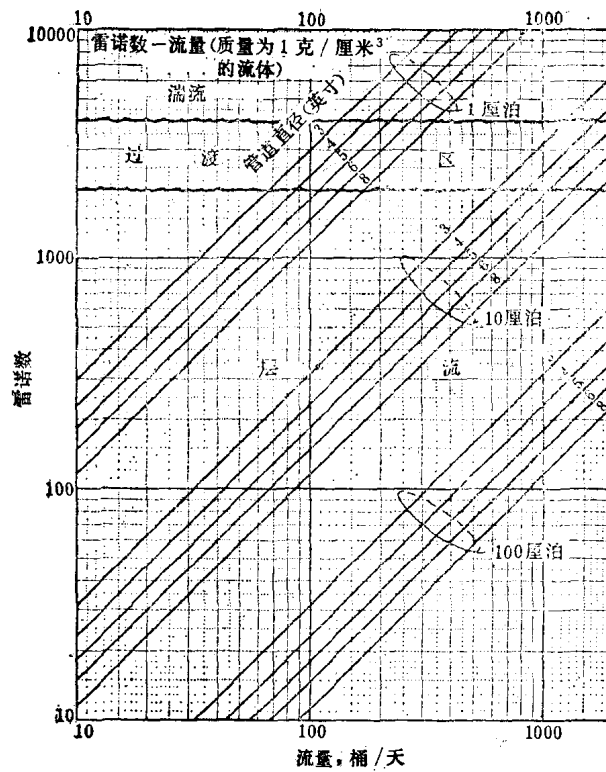


图 1-3 不同管径、不同粘度的流体雷诺数与流量的关系

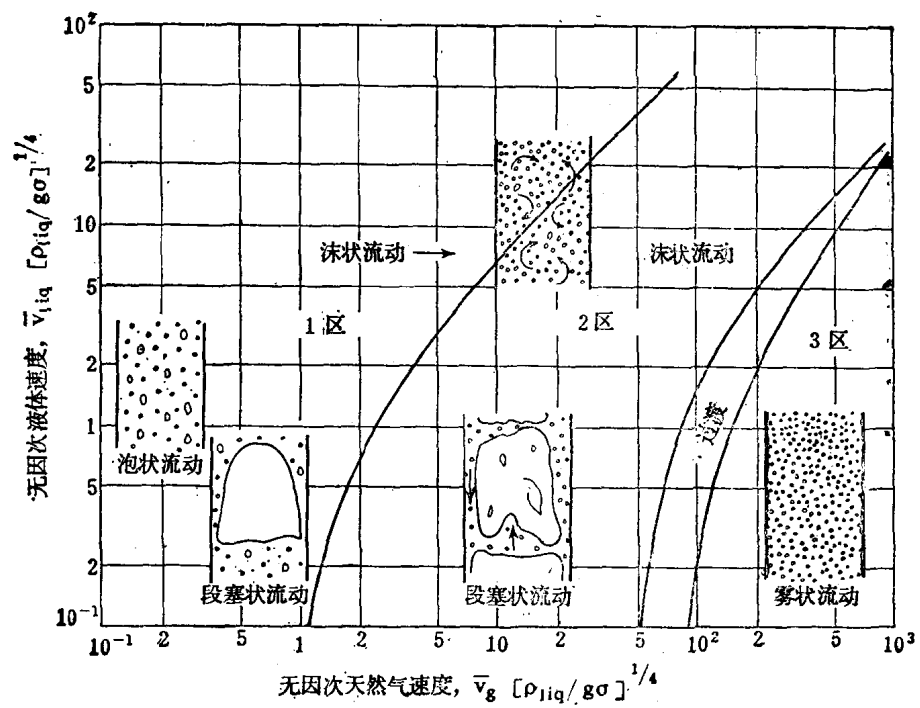


图 1-4 各种流型流体结构的说明

次变化。贴井壁的油流变得很薄，大部分原油变成大致均匀分布在气体中的小滴，它随着气流而运移。从此，两相流体基本上以相同的速度上升了。这称之为雾状流动。

在这个例子中，由于气体的膨胀，使四种流型存在于同一个垂直管内，但是，如果气体体积在井底就增加的话，井筒里可能从一开始就有段塞状流、沫状流、甚至雾状流。

六、流型、持水率和滑动速度

图1-5是在套管中流动的油与水的示意图，在井底产水100桶/天，到井口产油900桶/天，即越来越多的油进入液流中。图中白色表示水，黑色表示油，套管的断开处即是射开的孔眼，油或水由此进入套管汇集成流。在油流量增加800桶/天之前，油向上流动时以油泡的形式存在于水的连续相中。例如，油的流量为600桶/天，而水仅为100桶/天。水是连续的液流相，并且水与油在套管中占有的空间部分是大致相等的。水占0.490，这叫持水率 y_w ，它能用压差密度计或持水率计测定。油占0.510，称为持油率 y_o 。由于两者之和为1，一般持油率表示为 $1 - y_w$ 。

当持水率为0.490时，为什么水的产量正好是总流量的七分之一呢，即总流量为700桶/天而水流量仅为100桶/天？这是因为油泡比水的上升速度要快得多的缘故。事实上，油的速度 V_o 是17.6英尺/分，而水的速度 V_w 是3.1英尺/分，油与水的速度差(14.5英尺/分)称为滑动

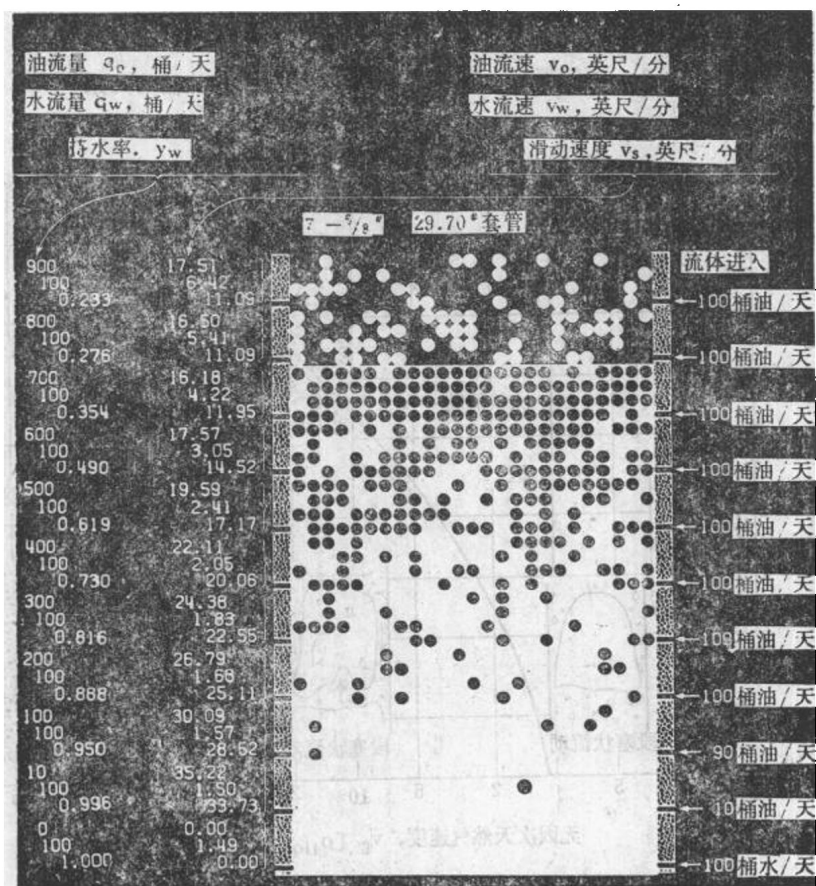


图 1-5 流动条件下典型生产井段的示意图

速度 V_s 。就是因为油泡具有较高的上升速度，在套管中油与水所占空间部分(即持水率)大致相等的情况下，使得油的流量为水的6倍。

在油的流量为700桶/天，水为100桶/天时，持水率是0.354，这里油以泡状存在于水的连续相中，这就是所说的泡状流动。当油的流量为800桶/天，水为100桶/天时，持水率是0.276，这里水以滴状存在于油的连续相中，这称为乳状流动。在乳状流动中，水泡的速度比连续相油的速度低，其差即是滑动速度。从泡状流动到乳状流动，持水率变化范围在0.25~0.30之间。在这两种流型变换过程中，存在一个段塞状流动的不稳定状态。它使得压差密度计的读数在几英尺的井段内出现不正常的高读数。

图1-6 (a)是与示意图1-5对应的持水率 y_w 、总流量 q 、油的流速 V_o 与水的流速 V_w 的变化曲线。图1-7是表示其定量关系的简化模型。

从图1-5与图1-6 (a)可看到油的流动速度总是高于水的流动速度的。流体在井内上升过程中，持水率 y_w 减少时油的流动速度($V_w + V_s$)随之减少(见图1-6 a)，这关系一直到射孔层段的顶部附近。后面将要说明滑动速度 V_s 是持水率与油水密度差的函数。但是在接近生产井段的顶部， V_o 开始增加。这里没有更多的水加进去，但是由于 y_w 在逐渐下降，相同的水量在套管容积中占的比例就更小了，由此 V_w 一定要增加。如果 V_w 的增加大于 V_s 的减小，则油速也将增加，事实上这正是在图的顶部出现的情况。

图1-6 (b)是对应示意图1-5的典型生产测井曲线，它包括压差密度曲线、未经刻度的放大压差密度曲线、全井眼转子流量计测井曲线与封隔器流量计测井资料等(后者是点测仪器)。注意在特性上，压差密度曲线及放大的压差密度曲线与持水率曲线是相似的，其全井眼

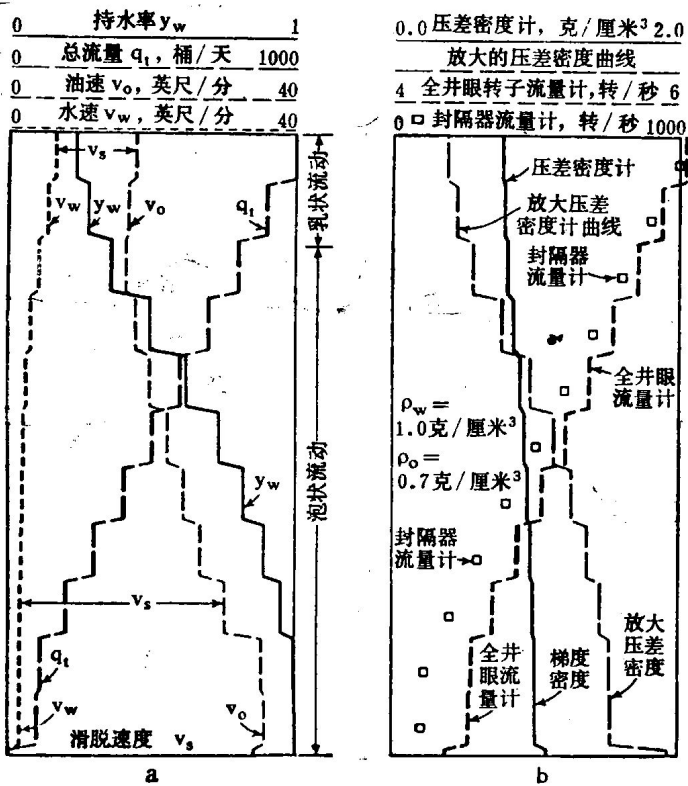


图 1-6 (a)根据图1-5绘制的各种参数曲线
(b)图1-5中井的预计测井曲线

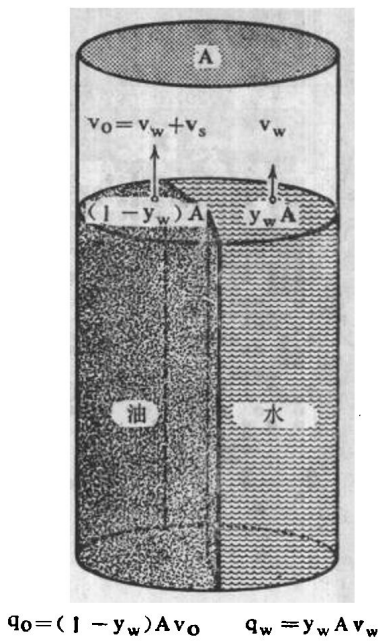


图1-7 表示流量(q)，持水率(y)和速度(v)定量关系的简化模型

流量计及封隔器流量计测井曲线与总流量曲线是相似的。

图 1-8 表示不同水流量下的流型。图中，在射孔井段顶部的最大原油产量为 900 桶/天。但是从射孔井段底部那组孔眼出的水流量自左上图的 10 桶/天变化到右下图的 225 桶/天。当水的流量增加时，流型由泡状流动变到乳状流动这一点就变得越来越困难。当水的流量为 10、100 与 150 桶/天时，由泡状流动变成乳状流动，油的流量分别是 600、800 与 900 桶/天。但是水的流量在 225 桶/天以上时(在这个例子中)，乳状流动是不会存在的，其流型只能保持着泡状流动。

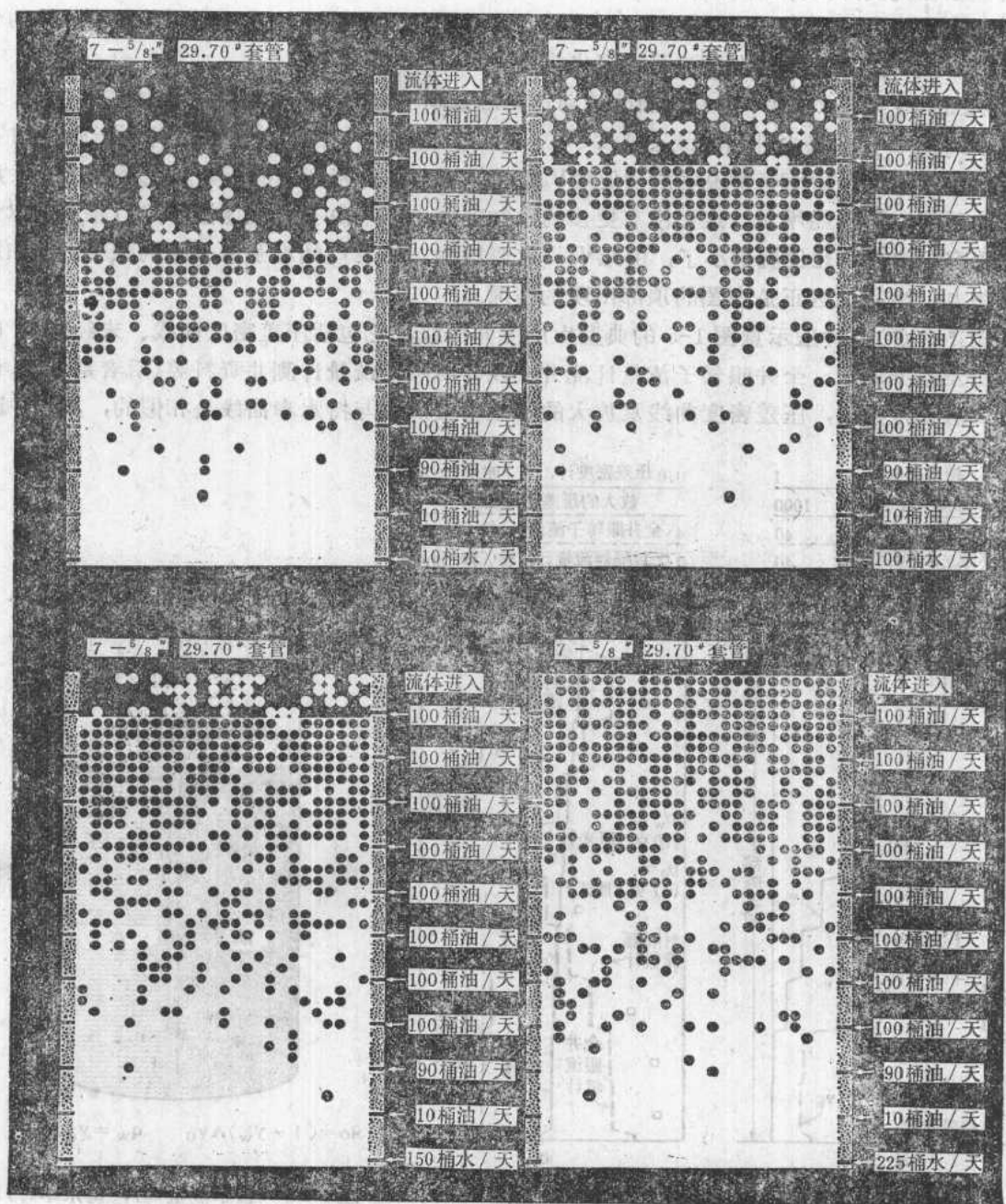


图 1-8 受水流量变化影响的说明

在这一组条件下,当水的流量少于原油的流量的五分之一时,会发生流型的变化。但是当这比例更大时,不可能发生流型的改变。

现场经验指出,甚至在地面不出水的井内在套管底部总是存在着泡状流动的。在泡流中连续相的水可能由含量不超过百分之零点的含水量引起的,或来自完井过程中留在套管中的水。由此可见,不管某井出水与否,基本上都可能进行压差密度计测井,并由它来确定持水率。

图1-9表示产水100桶/天与产油900桶/天不同尺寸套管井中的各种流型。从该图可见,套

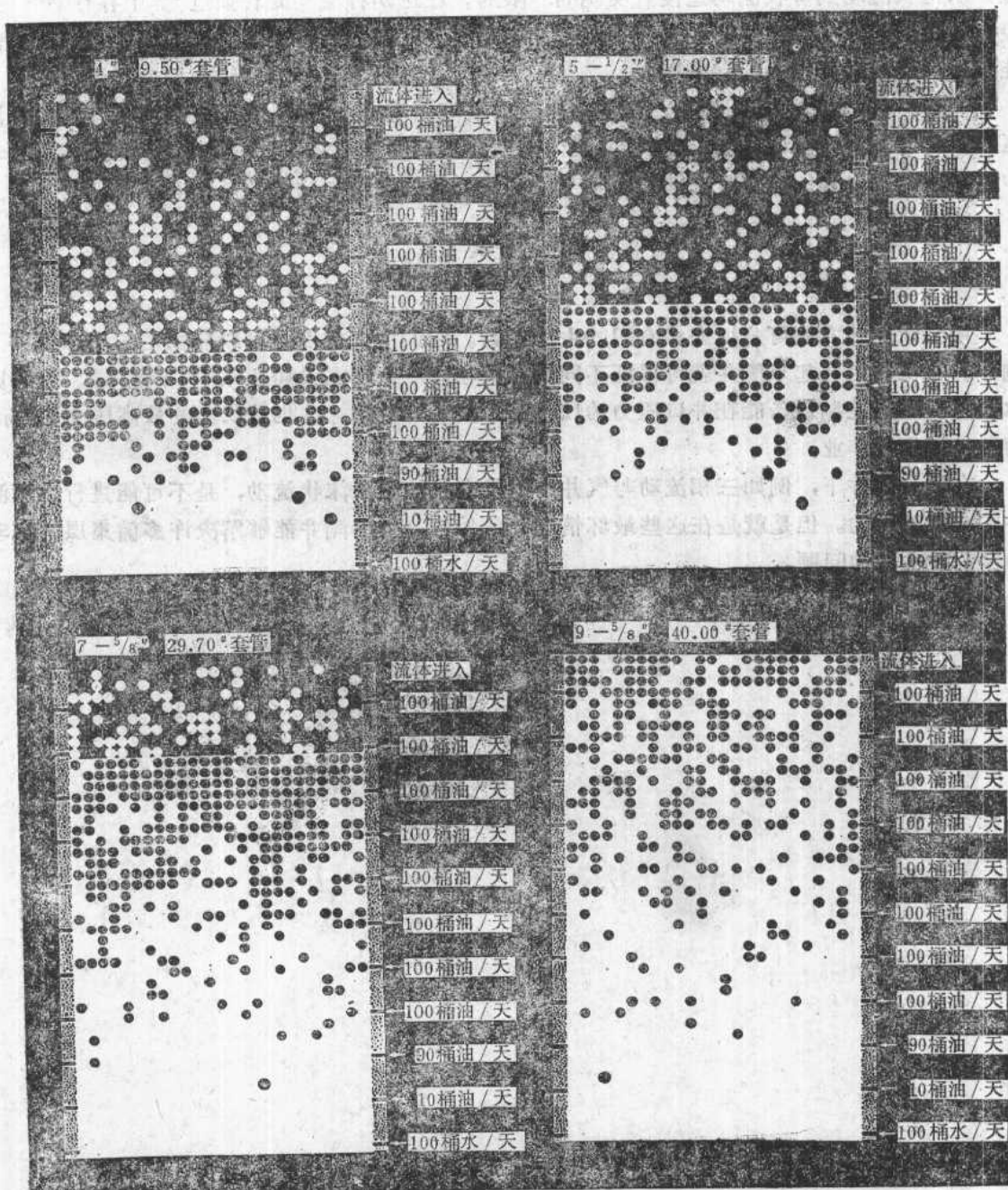


图1-9 套管直径变化的影响

管直径越大，泡流发生的可能性就越大。

气体的流型

液体中存在着天然气时，情况就有点变化了。在含气的两相流动中，有气泡流动，而连续相是油或者是水。从生产测井解释获得的经验指出气泡的滑动速度大约是60英尺/分。本文还要就滑动速度与测量的各种参数之间的关系作进一步的说明。

类似于油-水系统中的乳状流动也有一种气体的流型（前面已提到过），叫做雾状流动。其中气是连续相，而液滴被气携带着上升，其速度与气差不多。但是不同于油-水情况的是，从泡状流动到雾状流动是没有明确的界限的。在这两种流型的转换过程中存在着一个段塞状流动与沫状流动的不稳定的过渡区。这个中间区域在最终变成真正的雾状流动之前能扩展到产液井段以上的某个深度。

图4-4是这方面的一个例子。从压差密度曲线可以看出，由泡状流动到雾状流动的过渡区在7245与7285英尺之间。在这种井里的重复测量表明压差密度计在雾状流动与泡状流动中的读数是相吻合的，但是在沫状流动与段塞状流动的井段中的读数是稍有不同。

七、结 论

用生产测井方法可分析许多有用的生产参数。它们主要优点是可以在稳定的动态条件下测井。将仪器组合起来测井就可保证不同的参数在同一个动态或静止条件下测量。施仑贝尔的井口压力控制设备能在井口压力为15000磅/英寸²（当然，这也是仪器的最高压力指标）的条件下常规作业。

在某些条件下，例如三相流动与气井中的段塞状流动及沫状流动，是不可能进行生产测井的定量解释的。但是就是在这些最坏情形的条件下，生产测井能够解决许多储集层的水动力学的或机械的问题。