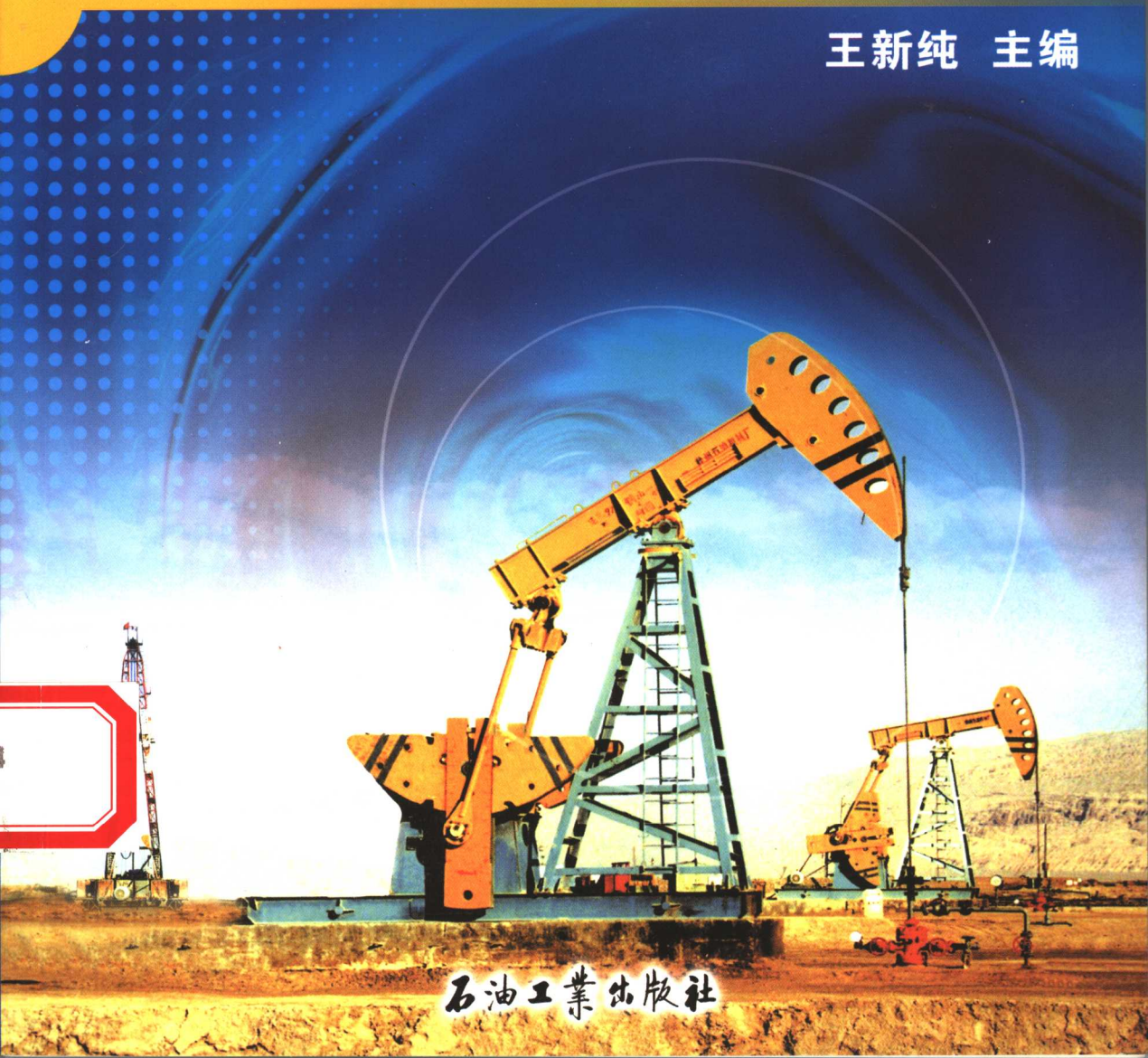


石油工人技术培训系列丛书

钻井施工

工艺技术

王新纯 主编



石油工业出版社

TE24

1

石油工人技术培训系列丛书

钻井施工工艺技术

王新纯 主编

3

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《石油工人技术培训系列丛书》中的一个分册。书中以大庆油田为例,系统地论述了钻井工艺在钻前、钻进、钻井液、固井、井控等方面的技术、操作方法、应采取的技术措施以及相应的仪器、设备,并以实例说明了这些措施的效果。

本书是石油钻井工人技术培训的教材,也可供科研人员及有关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钻井施工工艺技术/王新纯主编.

北京:石油工业出版社,2005.6

(石油工人技术培训系列丛书)

ISBN 7-5021-5045-5

I. 钻…

II. 王…

III. 油气钻井-生产工艺-技术培训-教材

IV. TE24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 027395 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010)64262233 发行部:(010)64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技排版中心

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本:1/16 印张:20.25

字数:340 千字 印数:1—5000 册

定价:25.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《石油工人技术培训系列丛书》

编 委 会

主 任：郑 虎

副 主 任：李万余 王永春 孙祖岭 白泽生

刘志华 孙金瑜

委 员：(按姓氏笔画排序)

上官建新 万志强 马卫东 马平凡

马自勤 王立民 王忠仁 尹君泰

申尧民 石桂臣 许 飞 许大坤

朱长根 向守源 百连刚 齐振林

张凤山 张景仁 张 剑 张启英

张晗亮 李储龙 李越强 岳丛林

范卓瑛 段世民 钟启钢 郭向东

侯浩杰 赵益红 郝春生 夏中伏

郭跃武 韩 炜

《钻井施工工艺技术》

编 写 组

主 编：王新纯

副 主 编：吴长安 高凤林 王世贵 王家齐

韩 辉 兰中孝 张海山 李国庆

赵公利 王秀臣 王建东 岳湘刚

战建民

审 稿：韩 辉 李国庆 刘中文 孙冠杰

乔庆光 孙长青 王恩才

编写人员：刘中文 张新军 彭 壮 赵英俊

郭秀平 朱红岩 钟 辉 刘继生

李庆会 郭孝平 王治江 赵燕明

王信仪 郝东奎 孙文才

努力造就更多的高技能人才

(代序)

《石油工人技术培训系列丛书》的出版,十分及时,很有必要,对加强中国石油天然气集团公司(以下简称“集团公司”)经营管理、专业技术和操作技能三支人才队伍建设,特别是操作技能人才队伍建设具有重要意义。

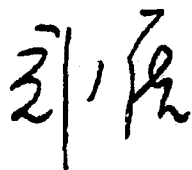
小康大业,人才为本。集团公司员工队伍中的高技能人才,是推动技术创新和实现科技成果转化不可缺少的重要力量,是集团公司三支人才队伍中重要组成部分。集团公司各项事业的发展,不仅需要广大专家的智慧 and 心血,也需要千千万万高技能人才的聪明和才智。长期以来,集团公司高技能人才奋战在油田勘探开发、炼油化工等生产一线,为科技成果的转化、产业结构的升级、企业竞争力的增强,发挥了不可替代的作用。我们要像尊重高级专家那样尊重高技能人才,要像重视高级专家那样重视高技能人才,要像关心高级专家成长那样关心高技能人才的成长。只有三支人才队伍比翼齐飞,各自发挥应有的作用,才能带动集团公司这艘巨轮乘风破浪,扬帆远航。

这些年,集团公司大力实施人才强企战略,坚持三支人才队伍一起抓,紧紧抓住培养、吸引和使用三个环节,不断改进人才工作方式方法,积极营造有利于各类人才脱颖而出的环境,有力推进了三支人才队伍建设,为建设跨国企业集团提供了人才保障。其中,在操作技能人才队伍建设方面,制定了《集团公司加强高技能人才队伍建设的意见》和《技师、高级技师管理办法》,积极组织技师、高级技师培训,全面开展班组长培训,不断提高技能鉴定工作质量,组织开展职业技能竞赛,促进了操作技能队伍素质的不断提高。但是,进一步加强高技能人才队伍建设,尽快形成一支结构合理、技术

精湛、一专多能、适应国际市场规模施工作业要求的操作技能人才队伍,仍是一项十分重要而紧迫的任务。《石油工人技术培训系列丛书》的编写与出版,将为加强操作技能人才队伍培训,造就更多的高技能人才,发挥重要作用。

这套丛书从生产实际出发,以满足需求为导向,以促进员工持续学习为目的,以重点培养员工的学习能力、实践能力和创新能力为目标,内容涵盖勘探、开发、炼化、销售等领域,实践性和针对性都很强。同时,大批专家的参与写作也使教材的权威性有了保证。希望这套丛书的出版发行,能为促进集团公司员工培训工作的深入开展,为促进更多高技能人才的成长,为形成一支门类齐全、梯次合理、素质优良、新老衔接、充分满足集团公司持续有效较快协调发展需要的人才队伍做出积极的贡献。

中国石油天然气集团公司党组成员、副总经理



2005年1月28日

目 录

第一章 调整井钻井地质技术	(1)
第一节 调整井的特点	(1)
第二节 浅气层分布规律及下表层防喷器的原则	(3)
第三节 地层、油层及断层现场对比方法	(4)
第四节 地层异常压力成因、分布规律及对钻井影响	(13)
第五节 地层孔隙压力预测方法	(24)
第六节 钻井前地层压力的调控方法	(34)
第七节 地层破裂压力的预测方法	(35)
第八节 钻井液密度计算及校正	(40)
思考题	(44)
第二章 钻前工程	(46)
第一节 搬家安装	(46)
第二节 井场布置	(47)
第三节 井口准备	(49)
思考题	(50)
第三章 钻进工程	(51)
第一节 常用钻井施工基本术语	(51)
第二节 钻进施工	(51)
第三节 取心井钻井技术	(61)
第四节 定向井钻井技术	(64)
思考题	(68)
第四章 钻井液	(70)
第一节 粘土矿物的基础知识	(70)
第二节 钻井液的作用及构成	(73)
第三节 钻井液性能及测试	(75)
第四节 钻井液体系	(81)
第五节 钻井液处理剂	(83)

第六节 固相含量的控制	(84)
第七节 油气层保护	(85)
思考题	(86)
第五章 固井	(88)
第一节 固井施工	(88)
第二节 固井质量验收标准	(101)
思考题	(103)
第六章 常见钻井复杂情况与事故处理	(104)
第一节 卡钻	(104)
第二节 钻具事故及井下落物	(108)
第三节 井漏及井塌	(112)
思考题	(116)
第七章 实用井控技术与设备	(118)
第一节 概述	(118)
第二节 井控设备	(120)
第三节 井控技术	(142)
思考题	(164)
第八章 常用钻具及钻井工具	(166)
第一节 钻具	(166)
第二节 井口工具	(172)
第三节 钻具稳定器	(181)
第四节 钻头	(186)
第五节 常用事故处理工具	(190)
思考题	(208)
第九章 钻井新工艺介绍	(210)
第一节 小井眼钻井技术	(210)
第二节 大位移井钻井技术	(216)
第三节 欠平衡钻井技术	(223)
第十章 钻井设备	(230)
第一节 钻机的组成	(230)
第二节 循环系统	(232)

第三节	起升系统	(243)
第四节	旋转系统及传动系统	(259)
第五节	钻机气动控制系统及液压控制	(265)
第六节	固控设备	(270)
思考题		(275)
第十一章	钻井仪器、仪表	(276)
第一节	钻井测量仪器	(276)
第二节	钻井仪表	(281)
思考题		(293)
第十二章	案例	(295)
案例一	陕北地区上部地层井漏预防和处理	(295)
案例二	杏 13-1-更 237 井发生油气浸、井漏的处理	(297)
案例三	复合区块井漏井口外溢井固井方法	(298)
案例四	易斜井区块地面移井位技术	(299)
案例五	预防控制井斜的几点体会	(302)
案例六	临江井斜控制方法	(303)
案例七	改进钻关方法提高固井质量	(305)
案例八	利用采油井补孔降压技术调整地层压力、提高钻井质量	(307)
案例九	解决断层遮挡影响注水井降压效果的方法	(308)
案例十	利用螺杆钻具处理水泥塞返高	(309)
参考文献		(311)

第一章 调整井钻井地质技术

为了进一步挖掘油田的潜力,提高油田的开发效果和最终采收率,油田的开发井网都要进行调整。为油田开发进行井网优化调整所钻的井即为调整井。大庆油田属于陆相沉积的砂岩油藏,具有多油层、非均质的特点。油田投入注水开发后,地层孔隙压力分布的规律发生了很大的变化,由原来的静止状态,变成了运动状态。运动状态下地层压力分布规律不同于静态下的地层压力分布规律。由于1口注水井同时要对多个油层注水,1口油井要同时开采多个油层的油,而各油层的厚度、平面分布的范围、渗透率、吸水能力、出油能力各不相同。渗透率高、厚度大的油层,注入水推进速度快,形成水淹层;注入量多而采出量少的油层,压力憋的很高,形成高压层;注入量少而采出量多的油层,压力很低,形成低压层;调整井钻井,1口井钻遇多个高压层、低压层、水淹层。钻井前,如不了解这些情况的变化,不了解地层压力的变化规律,就会发生钻井井喷、井漏等复杂情况。因此,调整井施工,必须开展地层压力变化规律的研究,进行地层压力预测。

第一节 调整井的特点

大庆油田的调整井,是在原基础井网的基础上,为实现油气细分调整和井网加密调整的目的而钻的生产井、取心井、更新井等。因此,这种井与油田原始状态下基础井相比较,就具有不同的特点。

一、大庆油田的地质特点

大庆油田位于松辽盆地的北部,其储油层属于内陆湖盆叶状复合三角洲沉积,是一个大型多层砂岩油田。由于湖盆频繁而广泛的变化,形成了泛滥平原、三角洲平原、三角洲内外前缘等不同的沉积相带,在萨尔图、葡萄

花、高台子含油层段内,由于不同的沉积时期和不同的沉积环境,又形成了不同类型的沉积砂体和沉积旋回,因此造成了其平面上和垂面上的严重非均质性。

由于这种特定的内陆湖相沉积环境,构成了大庆油田的许多基本特点:一是油层多,含油井段长,储量丰度高。萨尔图、葡萄花、高台子油层组,有49~130多个单层,含油井段几十米到几百米,每平方千米的储量从几十万吨到几百万吨不等。二是油层厚度、差异大,最薄的0.2m,最大的单层厚度10~13m,一般1~3m。三是渗透率差异大,空气渗透率最低 $0.02\mu\text{m}^2$,最高达 $5\mu\text{m}^2$ 。在纵向剖面上,形成了砂岩和泥岩、厚层和薄层、高渗透率和低渗透率交错的复杂情况。

二、调整井的特点

由于大庆油田的长期注水开发,调整井形成了几个显著的特点:

(1)非均质多油层组的地质条件和高压注水的开发历史,使本来存在的层间、层内以及平面矛盾更加突出。特别在套损区内、注采不平衡的井区内,这种矛盾更加尖锐。在1口井上,高压层、低压层、正常压力层相间存在,不同层的压力系数差别很大,构成了典型的多压力层系剖面。

(2)钻井遇到的复杂情况多。大庆油田调整井井深一般为1000~1250m,这种浅井不可能采用多层套管封隔多压力层系,而只能采用较高密度的钻井液一次钻穿所有的不同压力层系,从而容易导致钻井中发生喷、漏、塌、卡等复杂情况。

(3)处于注采动态情况调整井区块,为适当降低地层压力,采取注水井降压的办法降低地层压力,但地下仍处于“相对运动”的状态,这就增加了调整井钻井的难度。

(4)钻井数量大,层系细分调整对象——低渗透的、薄层的、表外储层的开采,单井获得的可采储量不断的减少。为了保持油田的稳产,势必增加调整井的钻井数量。

(5)钻井工程质量要求达到更高的标准。为了实现层系细分的调整方案,把薄油层的储量充分挖掘出来,在钻井工程质量上,特别是固井质量上提出了更高的要求。

第二节 浅气层分布规律及下表层防喷器的原则

浅气层是指油层上部的含油气组合,在大庆具有广泛的分布,它具有埋藏浅、危害性大等特点。

一、浅气层的分布规律

浅气层在大庆油田尤其是大庆油田长垣北部的喇嘛甸、萨尔图、杏树岗油田具有广泛的分布。其主要储集层为嫩二段顶部粉砂岩及泥质粉砂岩,嫩三段的粉砂岩及泥质粉砂岩,嫩四段的细砂岩及粉砂岩。一般来讲浅气层分布在构造的高点及局部构造高点,只要具备以下 3 个条件,就能形成浅气层(相当于外围的黑帝庙油层):

- (1) 具备 2.5m 、视电阻率为 $10\Omega \cdot \text{m}$ 、自然电位为 3mV 的砂岩。
- (2) 该砂岩必须在一定海拔深度以上才能形成气层。
- (3) 同时形成一定的局部构造圈闭及断层遮挡条件(即断层断裂后相对隆起的下盘被断层遮挡),有利于浅气层的聚集。喇嘛甸、萨尔图、杏树岗油田浅气层含气范围见表 1-1。

表 1-1 喇嘛甸、萨尔图、杏树岗油田浅气层分布及防喷地质要求

浅层 含气 区名称	含 气 区 范 围						表层套 管下深 m	钻井液密度 g/cm ³	
	南三区以北地区		南四区—杏三区		杏四区—太 15 井			开钻	起钻
	嫩二段顶部海拔深度,m	相当嫩二段顶部深度,m	嫩二段顶部海拔深度,m	相当嫩二段顶部深度,m	嫩二段顶部海拔深度,m	相当嫩二段顶部深度,m			
主要 高压区	-280 以上	430 以上	-395 以上	540 以上	-400 以上	540 以上	100	1.25 ~ 1.30	1.35
高压区	-280 ~ -320	430 ~ 470	-395 ~ -415	540 ~ 560	-400 ~ -420	540 ~ 560	100	1.25 ~ 1.30	1.35
主要 含气区	-320 ~ -360	470 ~ 510	-415 ~ -455	560 ~ 600	-420 ~ -440	560 ~ 580	100	1.25 ~ 1.30	1.35

储集在各储集层的浅气层产状有很大的差别,嫩二段顶部砂岩的浅气层产状以纯气层为主,嫩三段、嫩四段砂岩中的浅气层则以气水同层为主。在钻井过程中,如果不采取防范措施或采取措施不当,极易发生气侵、井涌、井喷等复杂情况,重者造成钻机陷入地下,固后管外喷冒而导致井眼报废,轻者套管外冒气、冒水而影响油水井投产,使企业、国家蒙受重大经济损失,地下资源遭到人为破坏,环境遭受严重污染,人民群众生命受到严重威胁。

二、下表层防喷器的原则

下表层防喷器是防喷的基础技术措施,是二次井控的必备条件,中国石油天然气集团公司井控管理规定及相关企业标准明确规定,凡位于浅气层区的开发井、调整井必须下表层防喷器,大庆油田井控技术规定有以下情况者下表层防喷器:

- (1)在浅气层区域内的井。
- (2)有憋压小层的井。
- (3)设计钻井液密度大于 1.90 g/cm^3 。
- (4)距居民区、主要公路和铁路干线重要建筑物50m以内的井。
- (5)更新井及特殊试验井。
- (6)套管损坏集中地区或预计可能钻遇高压水淹层的井。

第三节 地层、油层及断层现场对比方法

在钻井施工中,现场对比地层、油层和断层是非常重要的,通过对比分析依据实际地层、油层数据确定套管串下入结构;判断是否漏失目的层;依据目的层底界深度确定人工井底;为确定固井水泥返高及其它特殊固井工艺技术(如下封隔器、水泥面控制工具等)的实施提供准确数据。

一、几种常用测井方法

- (1)普通电阻率测井。因各种岩石具有不同的导电能力,普通电阻率测井采用供电电极A、B供给直流I,有测量电极M、N(按不同排列方式及尺寸,组成不同的电位电极系或梯度电极系。我国常用的电位电极系为

0.5m,常用的梯度电极系为2.5m、4m等)测量MN之间的电位差 U_{MN} ,电位差的大小反映了井内不同地层电阻率的变化。岩石电阻率与岩性、物性和含油性有密切的关系,这就是电阻率测井能够确定岩性,划分油、水层的基础。电阻率测井还可以用来确定地层界面以及储集层的含油饱和度。

(2)微电极测井。在极板上嵌入3个成直线排列的小电极,电极间间距0.025m,组成一个微梯度电极系 $A_0.025M_10.025M_2$ 和一个微电极系 $A_0.05M$,同时记录微电位和微梯度曲线。

(3)自然电位测井。自然电位测井是测量地层电化作用产生的电位。用自然电位曲线可划分渗透性地层,分析岩性以及估算地层水电阻率,还可用来确定地层中的泥质含量。

(4)变密度测井。在下有套管注水泥的井中,声波从发射器到接受器可通过4种传播途径:一是沿套管传播;二是沿水泥环传播;三是通过地层传播;四是通过钻井液传播。如果在套管中,能够同时测量套管及地层信号的幅度,就可详细地判断套管、水泥、地层三者胶结情况。变密度测井就是记录套管波幅度及地层幅度的1种测井方法。

二、地层、油层对比分层原则

在现场用新测得的1:200微电极曲线和1:500的2.5米底部梯度曲线与同一断块上的邻井(最好选用南北方向的邻井)的相应曲线进行对比,其原则为:考虑厚度大致相等、曲线形态的相似性进行对比,突出标准层控制分层界限和断层位置。

在地层和油层部分所选用的标准层都具备有沉积稳定、分布广泛、岩性特殊、电性标志明显、易与上下层区分等特点。在对比时考虑到因地层和油层沉积的相对稳定,所以厚度在平面上按一定方向做有比例的均匀变化,但大致相等;因同一段组的岩性相似的岩层或其组合,在电性上相同,故在电测曲线上,有相似的曲线形态,根据曲线形态的尖峰和凹挡分段组逐段对比,突出标准层,用其确定地层和油层分层界限和断层位置。

三、地层分层标准层

(1)标准层层号、层位、厚度及岩性特征见表1-2。

表 1-2 地层分层标准层

标准层 层号	层位	厚度, m	岩性特征和沉积韵律	2.5 米视电阻率曲线特征
地 1	明一段	110.0	黑灰色泥岩和浅灰色粉砂岩、细砂岩、砂砾岩组成两个正旋回	两个正旋回, 上部泥岩曲线平直呈低电阻, 底部出现极小值; 每个旋回下部为高电阻层, 明一段底为最下一个砂层的底界
地 2	嫩三段	110.0 ~ 120.0	灰绿色、黑灰色泥岩和灰色粉砂岩、泥质粉砂岩组成 3 个由细变粗的反旋回, 本段最底部见一个螺蚌化石层	表现为 3 个由低→高→略低的反旋回, 均呈“羊背石”形态, 其顶划分子第三个反旋回的砂层所呈现的“乌龟背”以上 14 ~ 17m 处的最小值处, 其底划分子第一个反旋回的最低处
地 3	嫩二段底部油页岩	35	黑褐色油页岩富含介形虫、金黄色叶肢介化石, 页理发育可以点燃, 全盆地稳定分布	呈一束 7 个高尖峰的组合, 嫩二段底界划于最肥大的尖峰处(也就是自上而下的第一个高尖峰)
地 4	萨零组和萨一组夹层	15 ~ 18	黑灰色泥岩夹 3 层劣质油页岩, 富含介形虫、叶肢介化石	呈 3 个间距相近的近平缓的小包, 俗称 3 个“馒头状”小包, 其第一个小包之上的砂层底界为萨零组底, 第三个小包之下凹挡最低值为萨一组顶界
地 5	萨一组和萨二组夹层	8 ~ 10	灰黑色泥岩和介形虫泥岩, 底部为两薄层含介形虫泥灰岩或介形虫钙质粉砂岩	低电阻值底部呈现两个尖峰构成“U”型, 在长垣南部呈现为羊角尖“M”型, 嫩一段底界划分子“U”字型或“M”型第二个尖峰的下半幅点处

(2) 标准层 2.5 米视电阻率曲线特征见图 1-1、图 1-2、图 1-3。

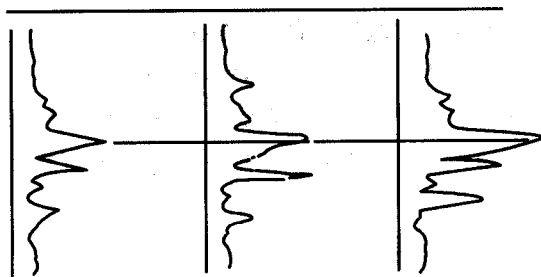


图 1-1 地 3 号标准层(嫩二段底界)

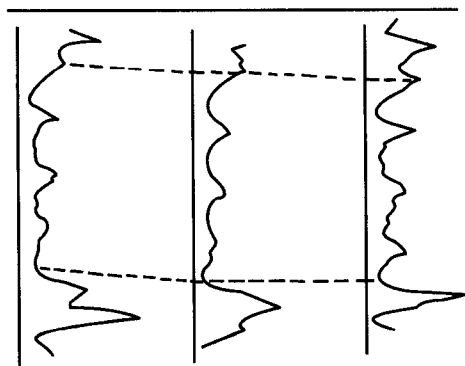


图 1-2 地 4 号标准层(萨零组底界,萨一组顶界)

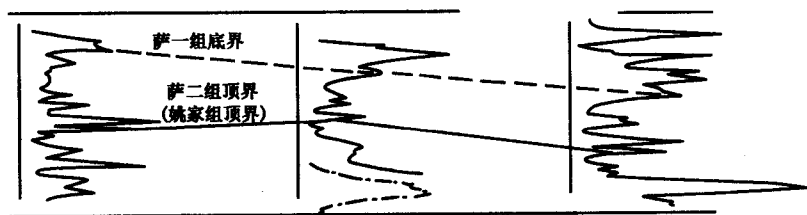


图 1-3 地 5 号标准层(萨一组底界,萨二组顶界)

四、用 2.5 米底部梯度视电阻率曲线与邻井对比划分地层界限的方法

(1)第四系底界为 50~65m 处的 1 个砂砾层。显示 1 个高电阻层,其底界为第四系不整合面。如果砂砾层不明显,则根据邻井厚度考虑其方向性的增厚减薄的规律,大致分出底界(图 1-4)。

(2)如果有明一段“地 1”标准层,可分出明一段和四方台组的界线,其顶界以上第四系底为明二段地层;如果没有明一段,就是在构造轴部及其附近地区它被剥蚀掉了。

(3)此时,先找出“地 3”区域性标准层,就可分出嫩二段和嫩一段的界限,而嫩二段顶就是大段泥岩,约 160~170m,曲线低且平直,其上为 30~40m 粉砂岩和泥质粉砂岩,曲线值略高,其顶突变为—低值,即为嫩二段和嫩三段界限。