



● 周开吉 郝俊芳 编

# 钻井工程设计

● 石油大学出版社

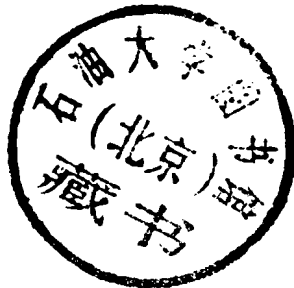
石油  
学(北京)  
22  
07

登录号	126132
分类号	TE 22
种次号	007

# 钻井工程设计

周开吉 郝俊芳 编写

SY48/09



石油0121420

石油大学出版社

## 内 容 提 要

本书以现代实用的钻井理论和工艺技术为基础,系统地讲述了钻井工程设计的基本原理、计算与方法。全书共 14 章和一个附录,内容包括:绪论,钻井工程常用术语和统计方法,钻井工程质量及计算方法,井身结构设计,固井工程设计,钻柱设计,钻机选择,机械破碎参数设计,钻井液设计,水力参数设计,下部钻具组合设计,油气井压力控制,钻前工程和环保工程,材料计划和钻井进度计划,一口井钻井工程设计示例。

本书还给出了钻井工程设计所需的数据、图表、曲线及设备规范,便于设计及现场使用,可作为石油高等院校钻井工程专业的教学用书,也可供从事石油钻井工程,探工工程设计和石油矿场钻井工程技术人员参考使用。

5

## 钻 井 工 程 设 计

周开吉 郝俊芳 编

\*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

山东省东营新华印刷厂印刷

\*

开本 787×1092 1/16 15.75 印张 400 千字

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 3 月第 2 次印刷

印数 1001—2500 册

ISBN 7-5636-0820-6/TE·167

定价:18.00 元

# 前 言

钻井工程设计是一口井施工的技术依据,正确合理的钻井工程设计是经济、有效完成钻井任务的基础。本课程之目的在于培养已学完基础理论和专业课程的学生们利用已获得的知识去分析、解决工程实际问题的能力,即根据一口井有关地质资料及技术要求,能够进行并完成一口井的综合钻井工程设计。

本教材以已被公认并在生产实际中使用的理论和工艺技术为基础,系统而全面地讲述了各项钻井技术参数设计与设备选用的理论依据与实用方法。为了便于设计,本书还给出了钻井工程设计所需的技术数据、图表、曲线及设备规范,供学生课程设计和现场工程技术人员使用。

本教材是在西南石油学院钻井工程专业 85~90 级试用教材的基础上经多次修改整理编写而成的,教材内容符合中华人民共和国石油工业部部颁标准(SY5333-88)对钻井工程设计的具体规定与要求。

全书共 14 章和一个附录,其中第一、第十二章由郝俊芳编写,其余各章均由周开吉编写。

本书完稿后,由江汉石油学院石油工程系李自俊教授审阅,他对书稿进行了认真和详细地审改,花费了极大的心血,石油大学陈庭根教授对全书进行了复审,并提出许多宝贵的意见,编者深表敬意和感谢。

教材中一些章节引用了钻井手册(甲方)以及有关参考文献中的部分内容(如钻井设计原则,环保工程和若干图表,例题等),编者在此向这些作者表示感谢。西南石油学院钻井工程专业 85~90 届学生和钻井教研室的老师们在使用该教材的教学过程中,提出了不少有益的建议和改进意见,这有助于本教材的逐步充实和完善,对此,我们也深表感谢。书中插图由我院地质系绘图室冯晓蕙老师绘制。

由于编者思想水平和业务水平有限,错误及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1994 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 钻井工程设计的任务和内容.....	1
第二节 钻井工程设计的基本原则.....	2
第三节 钻井工程设计程序框图.....	3
第四节 钻井工程设计和审批程序.....	3
<b>第二章 钻井工程常用术语和统计方法</b> .....	5
第一节 钻井工程常用术语.....	5
第二节 钻井时效分析及统计方法.....	7
<b>第三章 钻井工程质量及计算方法</b> .....	10
第一节 钻井井身质量及计算方法 .....	10
第二节 完井质量标准及要求 .....	11
<b>第四章 井身结构设计</b> .....	13
第一节 井身结构设计原理 .....	13
第二节 井内波动压力分析 .....	16
第三节 井身结构设计的基础参数 .....	21
第四节 井身结构设计的方法及步骤 .....	22
第五节 套管尺寸与井眼尺寸选择及配合 .....	26
第六节 井身结构设计实例计算分析 .....	28
<b>第五章 固井工程设计</b> .....	33
第一节 套管特性 .....	33
第二节 套管强度设计 .....	55
第三节 套管柱管串结构及套管扶正器 .....	71
第四节 水泥及注水泥浆设计 .....	73
<b>第六章 钻柱设计</b> .....	84
第一节 钻柱的规范及特性 .....	84
第二节 钻柱组合设计 .....	92
第三节 钻柱强度设计 .....	95
<b>第七章 钻机选择</b> .....	101
第一节 选择钻机的主要技术依据.....	101
第二节 钻机选择.....	101
<b>第八章 机械破碎参数设计</b> .....	111
第一节 钻头类型.....	111
第二节 钻头选型.....	119
第三节 钻压、转速的优选 .....	137
<b>第九章 钻井液设计</b> .....	145

第一节	常用钻井液体系及其应用	145
第二节	钻井液设计原则	155
第三节	钻井液性能设计	160
第四节	固相控制系统	165
<b>第十章</b>	<b>水力参数设计</b>	167
第一节	水力参数设计内容及基础数据	167
第二节	水力参数设计方法	168
第三节	水力参数设计步骤及计算方法	174
第四节	金刚石钻头水力参数设计	179
<b>第十一章</b>	<b>下部钻具组合设计</b>	184
第一节	钟摆钻具组合设计	184
第二节	刚性满眼钻具组合设计	190
<b>第十二章</b>	<b>油气井压力控制</b>	195
第一节	井控对钻井工程设计的要求	195
第二节	井控装置	196
<b>第十三章</b>	<b>钻前工程和环保工程</b>	204
第一节	基础工程	204
第二节	钻井设备的安装校正	205
第三节	环保工程	206
<b>第十四章</b>	<b>材料计划和钻井进度计划</b>	213
<b>附录 A</b>	<b>一口井钻井工程设计示例</b>	216
	<b>主要参考文献</b>	244

# 第一章 绪 论

钻井设计包括地质设计和钻井工程设计。《钻井工程设计》主要讲述钻井工程师得到地质设计后,如何以地质设计为依据,进行一口井的综合、合理的钻井工程设计。

钻井工程是一个多学科、多工种的大系统工程。钻井工程设计是以现代钻井工艺理论为准则,采用新的研究成果,以现代计算技术用最优化科学理论去设计和规划钻井工程中的工艺技术及实施措施。

钻井工程设计是完成地质钻探目的、开发油气层、保证钻井工程质量、保护油气资源、保护环境、实现安全、优质、高速和经济钻井的重要程序,是钻井工程施工的指南和技术依据。钻井公司将根据钻井工程设计的內容和要求组织施工和技术协作,并按照设计进行单井预算和决算。钻井队必须遵循钻井工程设计施工,不能随意变动,如因井下情况变化,原设计确需变更时,必须提交公司主管单位重新讨论研究。

钻井工程设计的科学性,先进性关系到一口井钻井工程和完井工程的成败和效益。科学钻井水平的提高依靠钻井工程设计水平的提高。

## 第一节 钻井工程设计的任务和內容

钻井工程设计的任务是根据地质部门提供的地质设计书內容,进行一口井施工工程参数及技术措施设计,并给出钻井进度预测和成本预算。

钻井工程设计內容包括:

一、确定合理的井身结构;

二、固井工程设计:

1. 套管柱强度设计;

2. 套管柱管串结构及扶正器安放;

3. 水泥及水泥浆设计;

4. 注水泥浆及流变学设计;

三、钻柱组合和强度设计;

四、钻机选择;

五、钻进参数设计:

1. 机械破碎参数;

2. 钻井液体系及性能;

3. 水力参数;

4. 下部防斜钻具结构;

六、油气井压力控制;

七、钻前工程;

八、环境保护要求;

- 九、各次开钻或分段施工的特殊点要求；
- 十、材料及成本预算；
- 十一、技术经济指标及钻井进度计划。

## 第二节 钻井工程设计的基本原则

钻井设计应遵循以下基本原则：

① 钻井设计的基本内容应包括地质设计、工程设计、施工进度计划及费用预算四个部分。应按石油工业部标准 SY5333—88《钻井设计格式》的规定认真进行设计。

② 地质设计应明确提出设计依据、钻探目的、设计井深、目的层、完钻层位及原则、完井方法、取资料要求、井身质量、油层套管尺寸及强度要求、阻流环位置及固井水泥上返高度等要求。水平位移要求严的直井，要考虑钻井的难度和钻井综合成本。

③ 地质设计应为钻井工程设计提供全井地层孔隙压力梯度曲线、破裂压力梯度曲线、邻区邻井资料、试油压力资料、设计地层、油气水及岩性矿物、物性、设计地质剖面、地层倾角及故障提示等资料。新区探井应按科学打探井技术规定，提供五种必需的地质图件（设计井位区域构造及地理位置图、主要目的层的局部构造井位图、过井“十字”地震时间剖面图、过井地质解释横剖面图、设计柱状剖面图）。开发井应提供区块压力等高线图及 500m 井距以内注水井位图和注水压力曲线图。

④ 调整井地质设计依据是上级批准的油田开发调整实施方案，钻井区块地质构造、区块内已完成井的各种地质、钻井资料、区块井位设计等。甲方地质部门应为钻井工程区块设计提供调整井区块地质设计，为钻井单井设计提供地层分层设计内容、地质要求、设计井邻井油、水井地下压力动态数据资料、设计井位示意图、地下复杂情况、故障提示等。调整井地质设计分层误差应控制在 10m 以内。

⑤ 调整井应采用集中打井，分片停注放溢流的原则。调整井开钻前，区块内的注水井应根据井口压力，提前若干天（一般为 10~30 天）采取注水井停注、注水井放溢流、油井转抽降压等具体措施，以降低区块内地层压力，为钻井安全施工，确保固井质量，保护油气层产能，提高综合经济效益创造条件。

⑥ 钻井工程设计必须以地质设计为依据。钻井设计要有利于取全取准各项地质工程资料；要有利于发现油气层，保护油气层，充分发挥每个产层的生产能力；要保证油气井眼轨迹符合勘探开发的要求；油水井的完井质量应满足油田各种作业的要求，保证油气井长期开采的需要；要充分体现采用本地区 and 国内外钻井先进技术，保证安全、优质、快速钻井、实现最佳的技术经济效益。

⑦ 钻井工程设计应根据地质设计的钻探深度和工程施工的最大负荷，合理地选择钻机装备。选用的钻机负荷不得超过钻机最大额定负荷能力的 80%。

⑧ 钻井工程设计应根据地质设计提供的地层孔隙压力梯度曲线及地层破裂压力梯度曲线或邻井邻区试油压力资料，设计钻井液密度、水泥浆密度和套管程序。设计的钻井液密度附加值，油井为  $0.07\sim 0.10\text{g/cm}^3$ ，气井为  $0.10\sim 0.15\text{g/cm}^3$ 。此附加值也适用于调整井。对设计钻探多套压力层系的探井，应采用多层套管程序，以利于保护油气层、钻杆中途测试和安全钻井。

⑨ 调整井钻井液密度应根据钻井区块所在采油厂（站）提供的地层压力进行设计。



目的层地层压力高于地层原始压力值时,钻井液密度设计应遵循以下四条原则:

根据采油厂提供的注水井地层压力,设计注水井附近或注水井之间新钻井的钻井液密度;

根据采油厂提供的采油井的井下静压,设计采油井附近或采油井之间新钻调整井的钻井液密度;

根据采油厂提供的采油井和注水井的静压,设计套管断裂地区新钻调整井的钻井液密度。

当目的层地层压力低于地层原始地层压力时,应以裸眼井段最高地层压力梯度设计钻井液的密度。

调整井钻井液密度的附加值,据各油田所钻区块统计资料实际值附加或经验公式附加。

⑩ 调整井钻井工程设计应考虑新钻井的套管防断、防挤毁问题。上述问题在未取得成熟经验前,应组织有关各方,积极研究套管防断、防挤毁技术,创造条件逐步满足油田开发调整井的需要。

⑪ 探井应开展随钻压力监测,如d.指数压力监测方法等。若随钻压力监测值与地质设计提供的地层孔隙压力梯度不符,应以随钻压力监测值及时调整钻井液密度,但应报地质设计审批部门备案。

⑫ 在探井钻井工程设计中,应根据工程需要,设计一定数量的工程取心。

⑬ 钻井要按设计的施工进度计划施工。对地貌条件困难或钻前工程耗资较大的地区,应尽量采用定向井或丛式井技术设计。对井斜严重地区用一般的方法控制井斜角困难时,应利用地层自然造斜规律,移动地面井位,采用“中靶上环”的方法,使井底位置达到地质设计要求。

⑭ 费用预算和施工进度计划应建立在本地区切实可靠的定额基础上。每隔两、三年进行一次定额指标的修订与核算。

⑮ 环境保护是我国的基本国策。钻井工程设计应包括钻井井场环境保护要求和装备。

### 第三节 钻井工程设计程序框图

具体框图见下页。

### 第四节 钻井工程设计和审批程序<sup>[1]</sup>

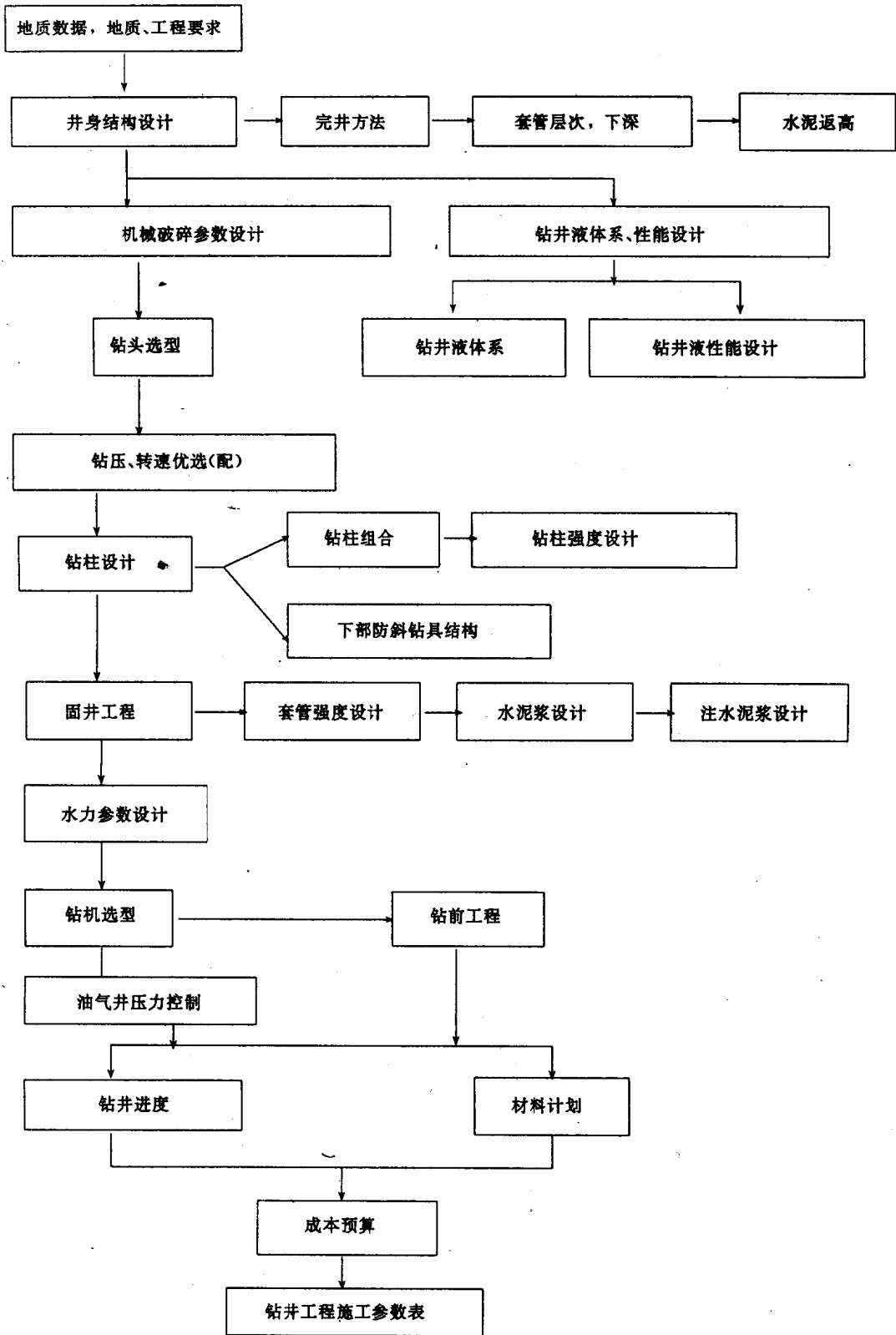
钻井工程设计和审批应遵循以下程序:

① 区域探井、预探井、评价井、超深井、开发井区块标准设计(含调整井区块标准设计)、特殊工艺井等钻井工程设计由甲方设计,经甲方(石油管理局或勘探局)总地质师、总工程师、总会计师(总经济师)批准后交乙方(钻井公司)施工。

② 开发井钻井单井设计(含调整井钻井单井设计),由甲方设计,经甲方有关处的主任地质师、主任钻井工程师、主任会计师批准后交乙方施工。

应逐步实行由甲方派出监督人员对乙方施工实行监督,以保证钻井设计的全面执行。

③ 各石油管理局(勘探局)应创造条件设立专职的钻井工程设计部门。设计部门应由地质、开发、工程、泥浆、财务、劳资及经营管理有经验的人员组成。设计部门应明确职责,建立完善的钻井数据库,采用计算机设计。设计人员要与现场密切结合,总结经验,反馈信息,不断提高设计水平。



钻井工程设计程序框图

## 第二章 钻井工程常用术语和统计方法

### 第一节 钻井工程常用术语

#### 一、钻井总论

1. 钻井:利用机械设备,将地层钻成具有一定深度的圆柱形孔眼的工程。
2. 直井:井眼轴线大体沿铅直方向,井斜角,水平位移和全角变化率均在限定范围内的井。
3. 深井:美国把超过 4570m 的井叫深井。我国把井深超过 2000 至 4000m 的井称深井。
4. 超深井:井深超过 4000m 的井。
5. 工程报废井:由于钻井工程事故,无法钻达地质设计深度而报废的井。
6. 钻井设计:是钻井施工的依据,包括地质设计、工程设计、工程进度设计和成本设计。
7. 钻井工程质量:主要包括井身质量、取心收获率和固井质量等,是衡量钻井工程优劣的重要指标。

#### 二、钻井工艺技术

1. 钻进技术参数:是指钻进过程中可控制的参数。主要包括钻压、转速、泵压、流量及其它水力参数。
2. 钻压:钻进时施加于钻头上的沿井眼前进方向上的力。通常以千牛为单位。
3. 转速:指钻头的旋转速度。以转数每分钟为单位。
4. 流量:单位时间内通过泵的排出口的体积。通常以升每秒为单位。
5. 钻进:使用一定的破岩工具,不断地破碎井底岩石,加深井眼的过程。
6. 泵压:泵排出口处的液体压力。其大小取决于外载,一般由泵出口处的压力表读数表示。常用兆帕为单位。
7. 开钻:指下入导管或各层套管后第一只钻头开始钻进的统称,并依次称为第一次开钻,第二次开钻……
8. 完钻:指全井钻进阶段的结束。
9. 完井:指完成井眼的全部施工结束。以最后一层套管固井结束后声幅测井到达人工井底的时间为完井时间。

#### 三、固井与完井

1. 井身结构:包括井中套管的层数及各层套管的直径,下入深度和管外的水泥浆返高(或深),以及相应各井段钻进所用钻头直径。井身结构设计是钻井施工设计的基础。
2. 人工井底:是指阻流环顶面至最下部油层底面间的距离。
3. 磁性定位短节:指接在靠近生产层附近的一根短套管。用来校准射孔深度,防止误射孔。
4. 完井方法:指油、气井钻井工程最后的一个重要环节,主要包括钻开生产层确定井底完成方法,安装井底及井口装置和试油。
5. 地层损害程度:用来评价生产层经钻井,完井和其它井下作业过程中遭钻井液、水泥浆

及各种工作滤液损害的严重程度。通常以损害带的平均渗透率评定。

6. 地层损害带:指各种滤液浸入生产层井壁而使井壁周围地层的原始渗透率明显下降的一个圆环体即地层损害带。

#### 四、石油钻井技术经济指标

1. 开钻井口数:指报告期间已一次开钻的井的口数。反映了钻井工作量和钻前搬迁安装的工作量。

2. 完钻井口数:指报告期间钻到目的层后不再往下钻进,且已将钻头提出井口的井的口数。

3. 完成井口数:指报告期间完成了设计规定的全部工序,经检验合格,或经补救合格,或经技术鉴定不需补救的井的口数。

4. 钻井进尺:衡量钻井工作量的基本指标。钻井进尺从转盘方补心顶面算起。

5. 井身质量合格率:衡量钻井工程质量的指标之一,计算公式为:

$$r_{gw} = \frac{n_{gw}}{n_c} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中  $r_{gw}$ ——井身质量合格率, %;

$n_{gw}$ ——井身质量合格的完成井数, 口;

$n_c$ ——完成井数, 口。

6. 生产层固井合格率:反映生产层固井工程质量的指标。计算公式:

$$r_{gc} = \frac{n_{gc}}{n_p} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中  $r_{gc}$ ——生产层固井合格率, %;

$n_{gc}$ ——生产层固井合格井数, 口;

$n_p$ ——生产层固井井数, 口。

7. 钻井工程报废:如钻井队在某井未完成最后一道工序而离开,该井即作为工程报废。钻井工程报废还包括有些由于钻井事故未钻到目的层,也未取得设计上要求的地质资料,而又不能用做采油、采气或辅助生产的井。

8. 报废井段:包括两种情况:(1)因钻井事故无法解除而决定不再继续钻进时,如某井段已取得设计所要求的地质资料,则自该井段以下没有取得设计所要求的地质资料的井段为报废井段。(2)有些探井由于钻井事故未钻到目的层,也未取得设计所要求的地质资料,但是穿过了油气层,可以用作采油采气或辅助生产的井,则自油气层以下不能利用的井段为报废井段。

9. 报废进尺:指由于钻井事故无法解除而报废的进尺,或由于灾害等其它原因造成的无效进尺。

10. 钻机台月:综合反映投入钻井工作的钻机台数和每台钻机钻井工作时间长短的指标。一台钻机的钻井工作时间达 30 天(或 720 小时),即为一个钻机台月。

11. 钻井周期:一开到完钻的全部时间。

12. 建井周期:指从钻机搬迁安装到完井为止的全部时间。包括搬迁安装时间,钻进时间和完井时间三部分。

13. 钻机月速:衡量钻井工作时间内钻井效率的指标,以每部钻机台月的钻井进尺来表示。计算公式如下

$$V_m = \frac{F}{m_d} \quad (2-3)$$

式中  $V_m$ ——钻机月速,m/台月;  
 $F$ ——钻井进尺(包括取心进尺),m;  
 $m_d$ ——钻机台月数,钻机台月。

14. 纯钻时间:指钻头在井底旋转碎岩石,形成井眼的钻进时间。其中包括取心有进尺的时间,但不包括纠斜、划眼和扩眼时间。

15. 完成井平均建井周期:综合反映钻井速度的指标,以平均完成一口井需要的天数或小时来表示。计算公式如下

$$m_{c_{av}} = \frac{\sum t_{c_i}}{n_c} \quad (2-4)$$

式中  $m_{c_{av}}$ ——完成井平均建井周期,d/口或 h/口;  
 $\sum t_{c_i}$ ——各完成井建井周期之和,d 或 h;  
 $n_c$ ——完成井数,口。

16. 完成井平均井深:反映报告期间已完成井平均深度的指标。计算公式如下

$$D_{av} = \frac{\sum D}{n_c} \quad (2-5)$$

式中  $D_{av}$ ——完成井平均井深,m/口;  
 $\sum D$ ——各完成井井深之和,m;  
 $n_c$ ——完成井数,口。

## 第二节 钻井时效分析及统计方法

1. 进尺工作时间:与正常钻进直接有关的时间,包括纯钻进时间、起下钻时间、划眼和扩眼时间、换钻头时间,接单根和循环钻井液时间。

2. 固井工作时间:指为固井所进行的一切正常工艺措施所占用的时间。包括准备工作如下套管前的划眼,试下套管,正式下套管,循环钻井液,注水泥,水泥候凝,试压,钻水泥塞,井口安装等全部时间。

3. 辅助工作时间:指钻井过程中除去进尺工作时间、固井工作时间、测井工作时间以外所必须进行的辅助工作所占用时间。包括准备工作、倒换钻具、检查工作、井壁取心、调配钻井液和其它辅助工作时间。

4. 扩、划眼时间:划眼时间是指在钻井过程中按照钻井操作规程规定所必须进行的划眼时间。扩眼时间是指取心后的扩大井眼时间,包括扩、划眼而进行的起下钻,换钻头,接单根等时间。但不包括处理井下复杂情况的扩、划眼时间。

5. 测井工作时间:是指在钻井过程中按地质、工程设计要求进行的电测,气测,井壁取心以及放射性测井所占用的时间。不包括事故中的测井等。测井时间还包括测井过程中为测井而进行的正常通井起下钻、循环钻井液、电测解释、资料验收等所需的静止时间。

因电测仪器下井迁阻,不能按要求测井而造成的通井起下钻、划眼、循环钻井等时间应计入处理复杂情况时间。

电测过程中处理卡电缆、测井仪器所占用的时间,应计入事故时间中的测井事故。电测中修理更换电测仪器,等电测车,等电测措施所占用的时间,都应计入组织停工中的等电测时间。

6. 事故损失时间:指从发生事故起到事故解除恢复正常状态为止的时间。事故包括井下事故(如卡钻、打捞)、地面机械设备事故、井喷事故、火灾事故及人身伤亡事故等。

7. 修理时间:指由于机械设备或地面建筑物损坏或运转失灵而被迫停止钻井工作进行修理的时间。包括机械动力修理和钻具修理等。

8. 组织停工损失时间:指由于组织工作不善、器材供应不及时或劳力调配不当、等待命令等原因而造成的停工时间。

9. 处理复杂情况时间:指处理井斜过大或井壁坍塌回填重钻、井漏、水侵、气侵、迂阻迂卡、钻井液循环发生故障、钻井液性能变坏、跳钻、蹩钻等时间。

10. 钻井总成本:指为钻井工程所消耗的一切费用和支出。包括新区临时工程费、钻前准备工程费、钻井工程费、录井测井作业费、固井工程费、施工管理费、试油工程费等七项。

11. 钻井工程成本:指钻井过程中所发生的全部费用。包括材料费、工资及附加费、折旧费、井控装置摊销费、其它直接费等五项。

12. 钻井单位总成本:反映钻井经济效果的主要指标,指每米进尺的平均总成本。计算公式如下

$$C_g = \frac{\sum C_i}{F} \quad (2-6)$$

式中  $C_g$  ——钻井单位总成本,元/m;

$C_i$  ——各项钻井成本,元;

$F$  ——钻井进尺,m。

13. 钻井工程单位成本:衡量钻井工程成本水平的基本指标,以每米进尺的平均成本来计算。计算公式如下

$$C_u = \frac{C}{F} \quad (2-7)$$

式中  $C_u$  ——钻井工程单位成本,元/m;

$C$  ——钻井工程成本,元;

$F$  ——钻井进尺,m。

14. 万米进尺工程事故率:反映钻井部门安全生产情况的指标。计算公式为

$$\Delta_m = \frac{N_f}{F_m} \quad (2-8)$$

式中  $\Delta_m$  ——万米工程事故率,次/万米;

$N_p$  —— 钻井工程事故次数, 次;

$F_m$  —— 钻井进尺, 万米。

15. 钻井进尺损失率: 指报告期间工程报废进尺和钻井进尺之比。计算公式为

$$\eta_d = \frac{(F_i + F_R)}{F_z} \times 100\% \quad (2-9)$$

式中  $\eta_d$  —— 钻井进尺损失率, %;

$F_i$  —— 报告期工程报废进尺, m;

$F_R$  —— 报告期返工进尺, m;

$F_z$  —— 报告期钻井进尺, m。

# 第三章 钻井工程质量及计算方法

## 第一节 钻井井身质量及计算方法

### 一、评定钻井井身质量的项目

1. 最大井斜全角变化率, (°)/30m;
2. 井底水平位移, m;
3. 最大井斜角, (°);
4. 平均井径扩大系数;
5. 最大井径扩大系数。

### 二、计算方法

1. 井斜全角变化率(简称全角变化率)

按下式计算

$$G_{ab} = \frac{30}{\Delta L_{ab}} \sqrt{(\alpha_a - \alpha_b)^2 + \Delta\varphi_{ab}^2 \sin^2 \frac{\alpha_a + \alpha_b}{2}} \quad (3-1)$$

式中  $G_{ab}$ ——测点  $a$  和  $b$  间的井斜全角变化率, (°)/30m;

$\Delta L_{ab}$ ——测点  $a$  和  $b$  之间的井段长度, m;

$\alpha_a$ ——测点  $a$  处的井斜角, (°);

$\alpha_b$ ——测点  $b$  处的井斜角, (°);

$\Delta\varphi_{ab}$ ——测点  $a$  和  $b$  间的方位变化量, (°)。

注: 当  $\alpha_a, \alpha_b$  有一个为零时,  $\Delta\varphi_{ab}$  则为零。

2. 井底水平位移

根据井斜测量数据, 井底坐标值按下述公式计算

- a. 平均角法

$$\left. \begin{aligned} N_n &= \sum_{i=1}^n \Delta L_i \sin \frac{\alpha_i + \alpha_{i-1}}{2} \cos \frac{\varphi_i + \varphi_{i-1}}{2} \\ E_n &= \sum_{i=1}^n \Delta L_i \sin \frac{\alpha_i + \alpha_{i-1}}{2} \sin \frac{\varphi_i + \varphi_{i-1}}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3-2)$$

式中  $N_n$ ——实际井底的  $N$  座标, m;

$E_n$ ——实际井底的  $E$  座标, m;

$L_i$ ——各测量点的井深, m;

$\alpha_i$ ——各测量点的井斜角, (°);

$\varphi_i$ ——各测量点的方位角, (°);

$i$ ——各测量点号,  $i=0, 1, 2, \dots, n$

- b. 圆柱螺旋线法



$$\left. \begin{aligned} N_n &= \sum_{i=1}^n \Delta L_i \frac{(\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i)(\sin \varphi_i - \sin \varphi_{i-1})}{(\varphi_i - \varphi_{i-1})(\alpha_i - \alpha_{i-1})} \times \frac{32400}{\pi^2} \\ E_n &= \sum_{i=1}^n \Delta L_i \frac{(\cos \alpha_{i-1} - \cos \alpha_i)(\cos \varphi_{i-1} - \cos \varphi_i)}{(\varphi_i - \varphi_{i-1})(\alpha_i - \alpha_{i-1})} \times \frac{32400}{\pi^2} \end{aligned} \right\} \quad (3-3)$$

式中符号同公式(3-2)。

直井井底水平位移计算公式

$$S_z = \sqrt{(N_o - N_n)^2 + (E_o - E_n)^2} \quad (3-4)$$

式中  $S_z$  ——直井井底水平位移, m;

$N_o$  ——井口  $N$  座标, m;

$E_o$  ——井口  $E$  座标, m;

$N_n, E_n$  同公式(3-2)

### 3. 平均井径扩大系数

按下式计算

$$K_D = \left( \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n L_i D_i - D_b \right) \div D_b \quad (3-5)$$

式中  $D_i$  ——  $L_i$  井段电测井径, mm;

$L_i$  ——井段长度, m;

$L$  ——全计算井段长度, m;

$D_b$  ——钻头名义直径, mm;

$K_D$  ——平均井径扩大系数, 无因次。

### 4. 最大井径扩大系数

由下式定义和计算

$$K_{DM} = \frac{D_{rM} - D_b}{D_b} \quad (3-6)$$

式中  $K_{DM}$  ——最大井径扩大系数, 无因次;

$D_{rM}$  ——所钻井眼最大电测井径, mm;

$D_b$  ——钻头名义尺寸, mm。

## 第二节 完井质量标准及要求

完井质量的基本要求是: 达到地质、工程设计要求, 并能经受合理的射孔、酸化、压裂考验, 满足特定条件下的注水、采油、采气的需要。