

# 海上单筒多井钻井技术

谢玉洪 李 中 黄 熠 谢梅波 著



石油工业出版社

# 海上单筒多井钻井技术

谢玉洪 李 中 黄 熠 谢梅波 著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍海上单筒多井钻井工程设计及施工过程中的关键技术。从单筒多井钻井设计入手详细介绍单筒多井结构、井口设计和井身结构设计;从单筒多井钻井安全入手介绍井口稳定性设计;从单筒多井钻井施工作业入手介绍钻井施工技术、下套管施工技术和固井施工技术。

本书可作为钻完井技术人员、修井技术人员及现场施工组织和管理人员的参考用书,也可作为石油院校相关专业教学的参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

海上单筒多井钻井技术/谢玉洪等著.

北京:石油工业出版社,2013.6

ISBN 978-7-5021-9612-7

I. 海…

II. 谢…

III. 海上开采-钻井

IV. TE53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 115682 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.com.cn

编辑部:(010)64523537 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:6.5

字数:166 千字

---

定价:58.00 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

# 前 言

海洋钻井是一项投资大、风险高的工程,如何节约海上油气开采成本是目前海上石油开发的重要课题。单筒多井钻井技术通过一个隔水管下入多个套管,完成多口井的作业,在海上平台空间受限的情况下,利用有限的井槽可钻更多的井眼。在不改变钻井总进尺的情况下,单筒多井钻井技术的使用可以减少导管架平台的数量或尺寸、减少隔水导管的用量,可有效降低钻井成本和工程造价,在经济性上具有明显优势。与分支井钻井及采油技术相比,单筒多井钻井技术无生产层间干扰及油气井维修作业分支间的干扰问题。常见的单筒多井钻井技术有单筒双井钻井技术和单筒三井钻井技术,单筒双井技术应用相对较多。在渤海和南海,单筒双井钻井技术已经得到了广泛的应用。近些年来,随着涠洲 6-1 油田、涠洲 11-4N 油田等单筒三井钻井技术的成功应用,单筒多井技术越来越成熟。

在海上采用单筒多井钻井技术,不但可以节约空间,而且在经济效益上有着显著的优势。在未来的海上小油田和边际油田的油气开发过程中,单筒多井钻井技术有着很好的应用前景。本书是在中海石油(中国)有限公司湛江分公司应用单筒多井钻井技术的基础上,对采用的相关技术进行整理、分析和编辑,从而形成的一套适合于海上油田开发的系列单筒多井钻井技术,这些不仅能对单筒多井钻井设计提供科学依据,而且还可以为单筒多井现场钻井施工提供技术指导和帮助。

在本书编写过程中,中国海洋石油总公司工程技术部的姜伟、张春阳、周俊昌等同志提供了技术指导;中海石油(中国)有限公司北京研究中心的周建良、刘书杰、王平双、何保生等同志提供了大量的技术资料和指导,湛江分公司的顾纯巍、李炎军等同志提供了大量的现场资料;中国石油大学(北京)的杨进、焦金刚、吴怡等同志也给予了大力帮助,国际知名的 Cameron 公司和 FMC 公司提供了大量单筒多井方面的井口资料,在此一并表示感谢!

由于本书涉及内容较多,加之作者的水平有限,本书定有不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

# 目 录

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 第一章 绪论 .....                    | (1)  |
| 第一节 单筒多井钻井技术在我国海上油气开发中的应用 ..... | (1)  |
| 第二节 单筒多井钻井技术国外应用情况 .....        | (6)  |
| 第二章 单筒多井简易平台 .....              | (12) |
| 第一节 简易平台的特征及发展趋势 .....          | (12) |
| 第二节 常见的简易平台类型 .....             | (14) |
| 第三节 简易平台应用情况 .....              | (19) |
| 第四节 分段模块化的简易平台 .....            | (24) |
| 第五节 简易平台类型选择 .....              | (26) |
| 第三章 单筒多井井口结构特征 .....            | (29) |
| 第一节 单筒多井结构 .....                | (29) |
| 第二节 执行标准及技术特性 .....             | (30) |
| 第三节 单筒多井的结构特征 .....             | (31) |
| 第四章 单筒多井井身结构设计及实例 .....         | (41) |
| 第一节 单筒多井的井身结构设计 .....           | (41) |
| 第二节 单筒多井的井身结构设计实例 .....         | (44) |
| 第五章 单筒多井的井口稳定性 .....            | (48) |
| 第一节 基本理论 .....                  | (48) |
| 第二节 单筒多井强度与稳定性分析 .....          | (61) |
| 第六章 单筒多井钻井施工技术 .....            | (67) |
| 第一节 单筒多井大井眼的钻井程序 .....          | (67) |
| 第二节 占位工具钻井程序 .....              | (69) |
| 第三节 单筒多井作业程序实例 .....            | (70) |
| 第七章 单筒多井下套管施工技术 .....           | (78) |
| 第一节 单筒多井下套管技术特点 .....           | (78) |
| 第二节 单筒多井下套管方案和安装程序 .....        | (78) |
| 第八章 单筒多井固井施工技术 .....            | (87) |
| 第一节 常规的固井工艺 .....               | (87) |
| 第二节 单筒多井固井施工方案 .....            | (92) |
| 第三节 单筒三井固井技术 .....              | (94) |
| 参考文献 .....                      | (97) |
| 单位换算 .....                      | (98) |

# 第一章 绪 论

近年来,为满足不断增长的能源需要,世界上许多国家都将油气开发的重点投向海洋。据统计,世界海洋石油蕴藏量约为  $1000 \times 10^8 \text{t}$ , 天然气储量约为  $140 \times 10^{12} \text{m}^3$ , 深海区域还富含可燃冰资源。海洋石油天然气勘探开发具有高风险的特点,开发费用非常高。随着海洋石油开采的快速发展,海上钻井技术不断进步,为了降低成本,海上单筒多井钻井技术得到了越来越多的应用。

单筒多井钻井技术是一种先进的导管共用钻井技术,适用于海洋边际油田开发及调整井的开发作业。该技术可以在一个井槽内钻 2~3 口井,在海上平台空间受限的情况下,利用有限的井槽可钻更多的井眼。实践应用表明,单筒多井技术的钻井施工虽然有一定难度,但成本节约却十分明显,具有广阔的推广应用前景。海洋导管架平台的建造和安装是浅海油气田开发投资中的重要组成部分。在一定水深范围内,随着水深的增加,海洋导管架的建造安装费用呈几何倍数增长,所占总投资比重也明显上升。在不改变钻井总进尺的情况下,单筒多井钻井技术的使用减少了导管架平台的数量或尺寸、减少了隔水导管的用量,相当于多口井共用一口井的隔水导管,有效降低了工程造价和钻井成本,在经济性上具有明显优势。与分支井钻井及采油技术相比,单筒多井钻井技术无生产层间干扰及油气井维修作业分支间的干扰问题。常见的单筒多井钻井技术有单筒双井钻井技术和单筒三井钻井技术,单筒双井钻井技术应用相对较多。

## 第一节 单筒多井钻井技术在我国海上油气开发中的应用

单筒多井钻井技术是采用双井井口系统,将主井眼分成 2~3 个分支的分井眼,所有分井眼的表层套管共用 1 层隔水导管,根据靶点的坐标,在二开钻进中以不同的造斜点朝各自的方向钻进,以达到在单个槽口钻 2~3 口井的目的。其单筒双井的井身结构如图 1-1 所示,单筒三井的井身结构与单筒双井类似。在单筒双井钻井技术方面,其主要的设计难点在于两套井口同时安装于同一层隔水管之上,两个井口的中心会靠得很近,需要采用背靠背的安装方式,同时还要考虑井口各阀件之间不能产生干扰,且便于现场安装操作。

从海上油田开发上看,总是希望用有限的井槽钻更多的井,或是用最小的平台导管架尽可能多钻生产井,这样可以节约成本,提高开发效益。从渤海油田和南海油田应用情况来看,单筒双井钻井技术及单筒三井钻井技术都已得到很好的应用。

目前单筒双井主要有两种结构形式:一种是分体式结构,此结构设计相对比较简单,其安装

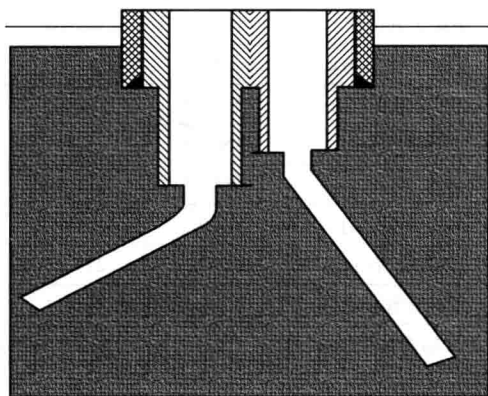


图 1-1 单筒双井的井身结构示意图

程序和普通的分体式井口类似,目前这种结构的井口在渤海油田应用较多;另一种是整体式结构,将套管头和油管头设计为一体,只需进行1次安装即可完成整个钻完井作业,但是其配套工具的使用要相对复杂一些,对操作人员的要求较高,这一结构的井口目前在中国的南海油田及国外的一些海洋油田得到广泛应用。单筒双井一般采用 $\phi 914.4\text{mm}$ 隔水导管+ $\phi 339.0\text{mm}$ 表层套管或 $\phi 762.0\text{mm}$ 隔水导管+ $\phi 244.5\text{mm}$ 表层套管的对称组合,也有采用 $\phi 762.0\text{mm}$ 隔水导管+表层套管1( $\phi 244.5\text{mm}$ )和表层套管2( $\phi 339.7\text{mm}$ )的非对称组合。单筒三井钻井技术仅在涠洲6-1油田有所应用。

一、渤海 QK17-2 单筒双井

中海石油(中国)有限公司天津分公司在渤海 QK17-2 地区开发井钻探过程中,应用国外的单筒双井技术钻成一个井槽内两口双靶定向井。其基本数据见表1-1,井身结构见图1-2。特点是:首次实现了在 $\phi 762\text{mm}$ 导管里下入两口井的 $\phi 244.8\text{mm}$ 表层套管;首次在 $\phi 660\text{mm}$ 井眼中,成功地进行了两根 $\phi 244.8\text{mm}$ 套管的固井作业;首次在同一井眼里,实现了两井眼的分别正确定向作业;首次成功地使用了单筒双井的井口头进行 $\phi 177.8\text{mm}$ 的固井作业;使用了陀螺定向防磁干扰 MWD 随钻跟踪正确钻达两口井的4个靶区,成功地实现了近井距,单筒双井4靶点的井眼轨迹控制。

钻头程序及套管程序: $\phi 762\text{mm}$ 导管 $\times 100\text{m}$ + $\phi 660.4\text{mm}$ 钻头 $\times 453\text{m}$ + $\phi 244.8\text{mm}$ 套管 $\times (274\sim 304)\text{m}$ + $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头 $\times (2065\sim 2122)\text{m}$ + $\phi 177.8\text{mm}$ 套管 $\times (2061\sim 2117)\text{m}$ 。

表 1-1 QK17-2 单筒双井基本数据

| 项 目                              | P2 井    |        | P14 井   |        | 实际      | 备注      |
|----------------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
|                                  | 设计      | 实际     | 设计      | 实际     | 平均      |         |
| 井深(m)                            | 2147.08 | 2122   | 2058    | 2055   | 2093.5  | 双靶点井    |
| 造斜点(m)                           | 500     | 280    | 550     | 453    | 366.5   |         |
| 最大狗腿度[ $(^{\circ})/30\text{m}$ ] | 3/2.5   | 4.6    | 3/1     | 4.43   | —       |         |
| 最大井斜( $^{\circ}$ )               | 29.62   | 28.5   | 21.92   | 20.1   | 24.3    | 实际为闭合方法 |
| 靶区1方位( $^{\circ}$ )              | 317.57  | 319.94 | 247.32  | 247.61 | 283.775 |         |
| 靶区半径1(m)                         | 30      | 13.42  | 30      | 17.2   | 15.31   |         |
| 靶区1垂深(m)                         | 1653.76 | 1653.2 | 1656.76 | 1656.2 | 1654.7  | 实际为闭合方法 |
| 靶区2方位( $^{\circ}$ )              | 319.13  | 319.06 | 247.85  | 247.19 | 283.125 |         |
| 靶区半径2(m)                         | 30      | 20.18  | 30      | 16.46  | 18.32   |         |
| 靶区2垂深(m)                         | 1876.76 | 1876.2 | 1878.76 | 1878.2 | 1877.2  |         |
| 井底垂深(m)                          | 1981.58 | 1980   | 1972.21 | 1990   | 1985    |         |
| 井底水平位移(m)                        | 683.97  | 671.99 | 482.02  | 477.67 | 574.83  |         |
| 30in 导管(m)                       | 100     | 100    | 100     | 100    | 100     | 打桩锤入法   |
| 9 $\frac{5}{8}$ in 套管(m)         | 500     | 273.73 | 500     | 307.73 | 290.73  |         |
| 7in 套管(m)                        | 2142    | 2117.1 | 2053    | 2061.6 | 2089.35 |         |
| 26in 钻头钻深(m)                     | 500     | 308    | 500     | 308    | 308     |         |
| 8 $\frac{1}{2}$ in 钻头钻深(m)       | 2142    | 2122   | 2053    | 2065   | 2093.5  |         |
| 建井周期(d)                          | 9       | 3.85   | 9       | 4.1    | 3.975   |         |



为避免井口环板承受过高的轴向力,用胶塞固井,但并不碰压,以保证作业期间井口环板及隔水导管的安全,同时采用泵冲数计量压塞液量,以获得替水泥结束的信号。

2. QK17-2 单筒双井的井眼轨迹控制及定向井工艺

(1)由表 1-1 和图 1-2 可知,P2 井和 P14 井位于西平台侧的边部,由于定向造斜,井距密集导致定向困难,这就需要认真对待和仔细考虑。

(2)P14 井由于造斜点为 453m,与周边的 P1 井、P8 井和 P9 井相比,造斜点在垂深上相差 33~153m,因此,采取 MWD 直接造斜获得成功。这样做的好处是不需要陀螺定向,既节省了时间、节约了费用,又提高了机械钻速。

(3)P2 井由于造斜点仅为 280m,并且一处套管鞋,旁边紧靠的就是 P14 井的长管,长出 30m,因此必须使用陀螺定向造斜。

(4)第 1 口井造斜线为准确确定表层套管走向,对两口井表层套管测陀螺,以便造斜时心中有数并可以采取相应的措施。

(5)为提高陀螺定向效率和准确性,陀螺所用的钻具组合为 MWD 和陀螺都可以使用的组合,即在 MWD 组合中加入定向接头,可以测陀螺,随时可以对 MWD 与陀螺测定结果进行对比,当 MWD 与陀螺测定结果吻合时,说明可以使用 MWD 工作。

(6)为保证定向造斜时,不至于钻穿邻井的套管,故 P2 井造斜时,使用一只牙轮钻头定向,这样做的好处是钻速慢,有足够的时间判断井下是否有危及邻井安全的情况,同时牙轮钻头本身不易在钻遇邻井套管时很快磨穿套管,有利邻井安全,这在密集井造斜定向时,是一个很重要的值得借鉴的经验。

(7)双井全井均使用 MWD 和导向马达钻进,因此,轨迹的控制比较方便,按照设计要求,两口井要命中 4 个靶,设计半径为 30m,实际平均半径是 16.8m,最小仅为 13m,完全满足设计要求,井眼轨迹见图 1-3 和图 1-4。

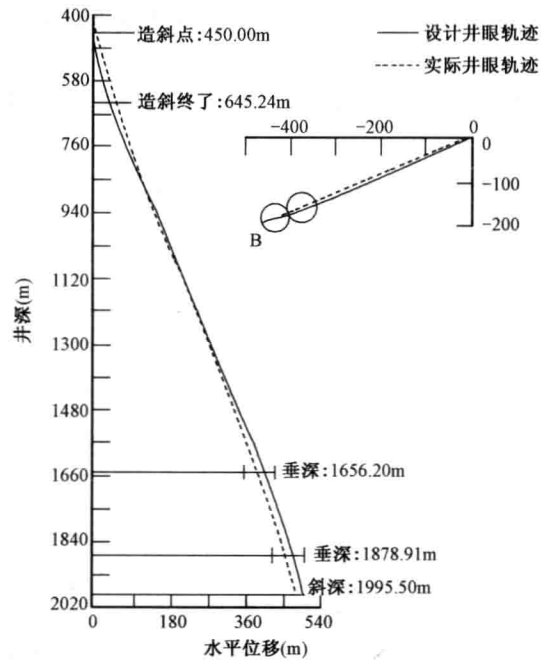


图 1-3 P14 井井眼轨迹示意图

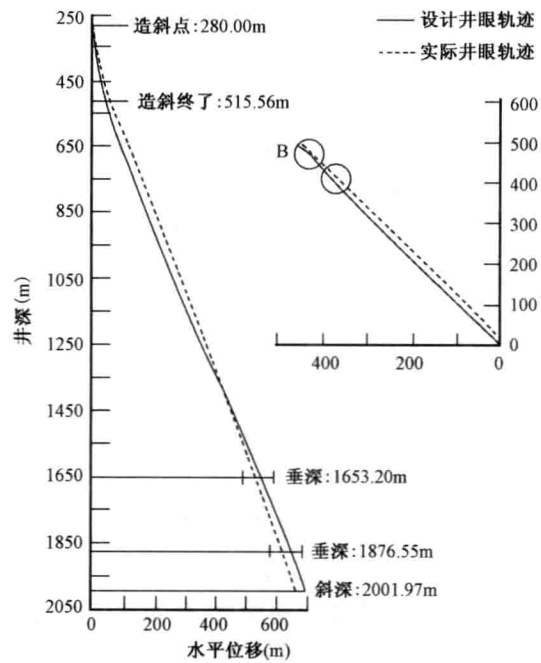


图 1-4 P2 井井眼轨迹示意图

### 3. 单筒双井钻井的井眼安全措施

单筒双井的钻井施工,本质上讲与常规井无大差别,但有几个与工程相关的安全问题应引起特别注意:

(1) 表层套管固井,要特别注意固好套管鞋,如前所述,加刚性扶正器,保证套管的间距,为注水泥封固创造良好的条件。

(2) 固井分长短管两次注水泥。先注长管水泥,待水泥浆返到短管套管鞋以上后,再转到短管内注水泥,保证了长短管的管鞋封固质量。

(3) 为避免钻水泥塞时对套管振动、破坏或影响水泥环的强度,长短管均采用浮箍和浮鞋直接串联的办法,而不是将浮箍和浮鞋之间间隔 1~3 根套管,因此,钻具下去以后,很快就钻穿浮箍、浮鞋进入新地层,取得了很好的效果。

(4) 采用低温速凝早强水泥,如 CA901~CA902 系列,24h 抗压强度达 20MPa,这样也可保证水泥封固后有足够的强度。

(5) 起下钻,钻具扶正器、弯接头通过表层套管时,严格控制起钻速度,防止由于扶正器翼片进出套管鞋时挂坏套管鞋。

(6) 使用 MWD+导向马达+PDC 钻头全程钻进。尽可能地提高钻速,缩短钻进时间,P14 井用了这套组合,钻至目标层位,纯钻时间为 29.5h,而 P2 井中间多两趟起下钻,第 1 趟钻是定向完成后换牙轮钻头为 PDC 钻头,第 2 趟钻是因 MWD 故障又起下一趟,纯钻时间为 35.5h,这两口井全井总的钻井周期平均在 4d 左右,速度快,本身也保护了表层套管的安全。

## 二、涠洲 6-1 油田单筒三井钻井技术

涠洲 6-1 油田位于中国南海北部湾盆地,属于海上边际小油田,为充分利用周边海上设施,在简易导管架上采用单筒三井钻井技术,以降低导管架建造规模,提高经济效益。

单筒三井井眼布局的几何尺寸是单筒三井技术的前提,必须通过计算并结合钻井工程实践经验才能得到合理的设计,对称性单筒三井布局示意图如图 1-5 所示。

单筒三井外筒和内筒之间的关系:

$$d = \frac{\sqrt{3}D}{2 + \sqrt{3}} - 2\Delta L \quad (1-1)$$

式中, $D$  为外筒的内径,mm; $d$  为内筒的外径,mm; $\Delta L$  为内筒与外筒间的最近间隙,mm。

公式(1-1)中  $D$  决定了简易导管架单腿的结构和尺寸, $d$  和  $\Delta L$  则决定了钻井工程的措施、难度及风险。通过对这 3 个参数的优化组合,决定选用内径  $\phi 1016\text{mm}$  (外径  $\phi 1066.8\text{mm}$ ) 的隔水导管作为外筒,内筒采用  $\phi 339.7\text{mm}$  套管以减少特殊作业,此时内外筒间的最近距离大约为 152.4mm,考虑前部地层很软,会有一定的井径扩大,选用了  $\phi 965.2\text{mm}$  的表层井眼。

涠洲 6-1 油田从自身特点入手,综合考虑井口操作简便、厂家生产水平及现场经验等因素,选用了 CAMERON 公司的单筒三井产品。其井口结构如图 1-6 所示,基本组件是导管基板、整体式油管四通和采油树。

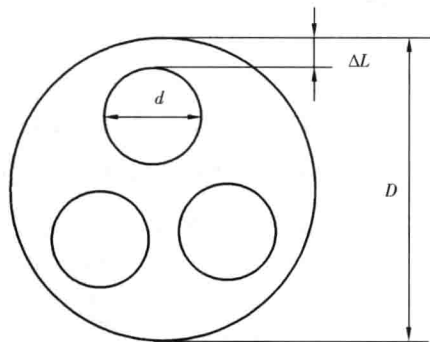


图 1-5 对称性单筒三井布局示意图

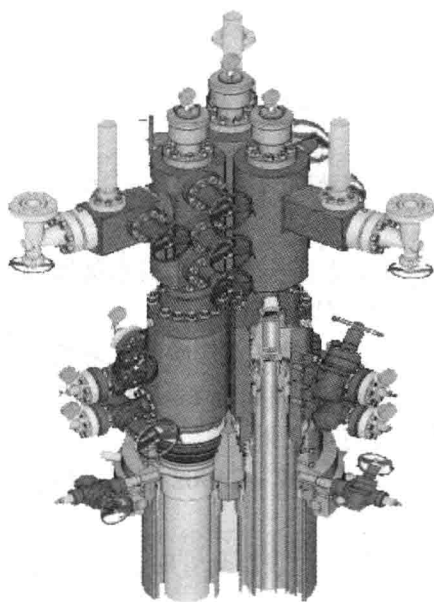


图 1-6 对称性单筒三井布局

## 第二节 单筒多井钻井技术国外应用情况

目前从国外现场应用来看,在一个隔水导管里放 2~3 口井已经比较成熟,应用较多。例如,CAMERON 公司在马来西亚地区成功地使用了在 36in 隔水导管里布放两口 13 $\frac{1}{8}$ in 的井眼,在 36in 隔水导管中布置 3 口 11in 井眼,在 30in 隔水导管里布放两口 11in 井眼。具有单筒三井生产和作业能力的厂家有 CAMERON,FMC,VETCO 和 DRIQUIP 等公司。

### 一、30in 隔水导管下两个 9 $\frac{5}{8}$ in 套管串

在 30in 隔水导管里下两个 9 $\frac{5}{8}$ in 套管串,其井口套管头如图 1-7 至图 1-9 所示。

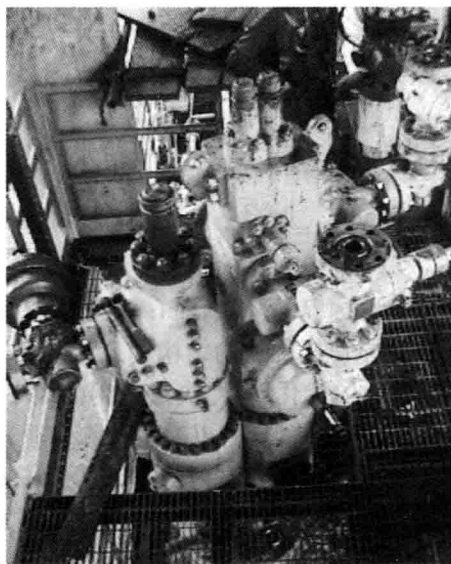


图 1-7 在 30in 隔水导管下两个 9 $\frac{5}{8}$ in 套管串现场安装图

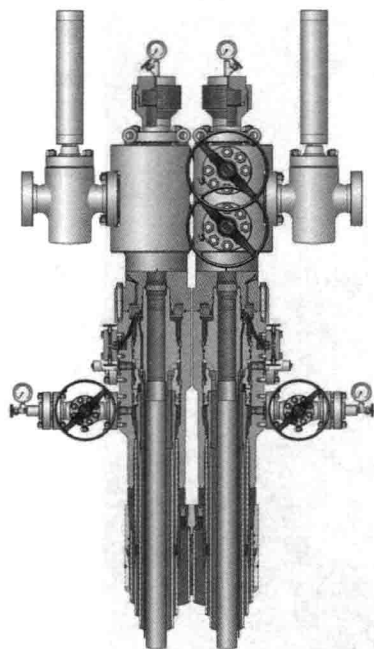


图 1-8 30in 隔水导管安装两个  
11in 套管头示意图



图 1-9 30in 隔水导管安装两个  
11in 套管头现场实物图

## 二、36in 隔水导管 3 个 9 $\frac{5}{8}$ in 套管串

在 36in 隔水导管里下 3 个 9 $\frac{5}{8}$ in 套管串,其井口套管头如图 1-10 至图 1-12 所示。

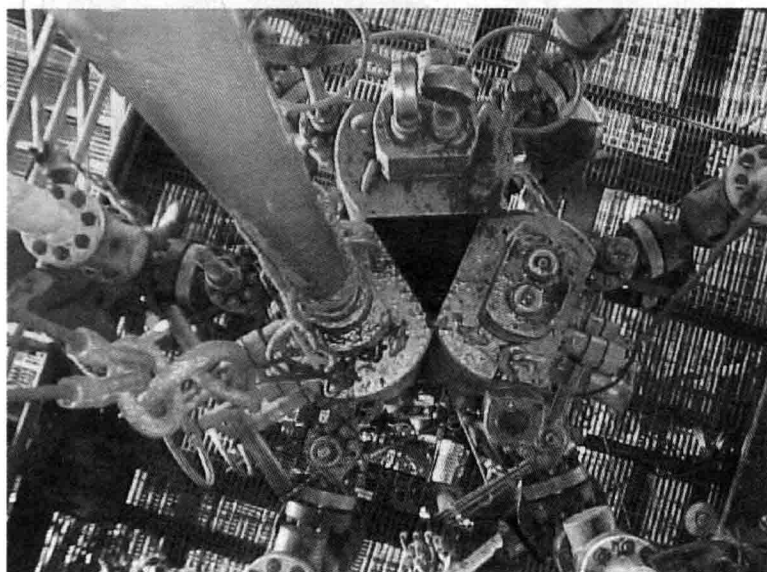


图 1-10 在 36in 隔水导管里布放 3 个 11in 套管头

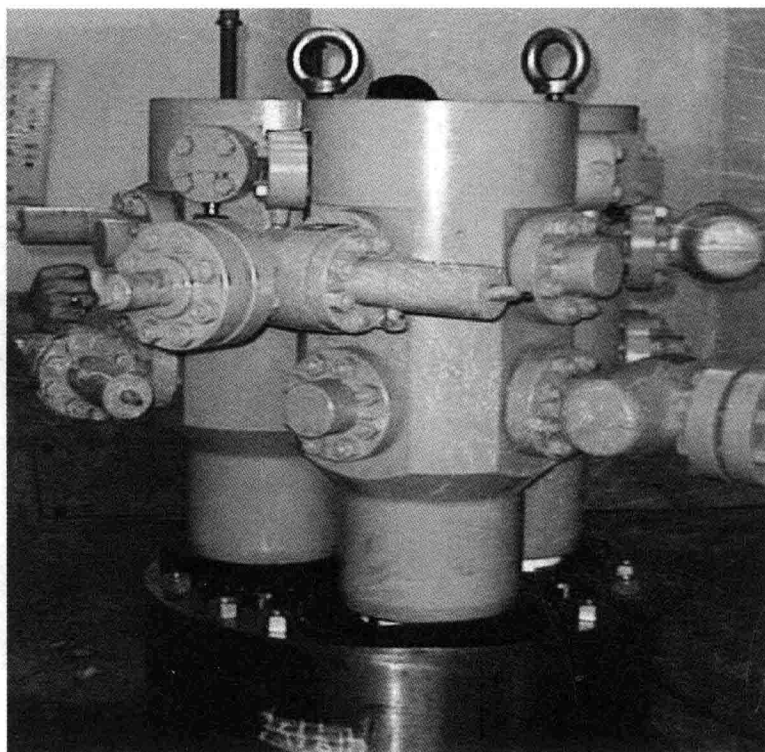


图 1-11 11in 3 合 1 套管头正视图



图 1-12 11in 3 合 1 套管头上视图

### 三、36in 隔水导管下两个 $13\frac{3}{8}$ in 套管串

在 36in 隔水导管里下两个  $13\frac{3}{8}$ in 套管串, 36in 隔水导管入泥示意图如图 1-13 所示, 其井口套管头如图 1-14 至图 1-18 所示。

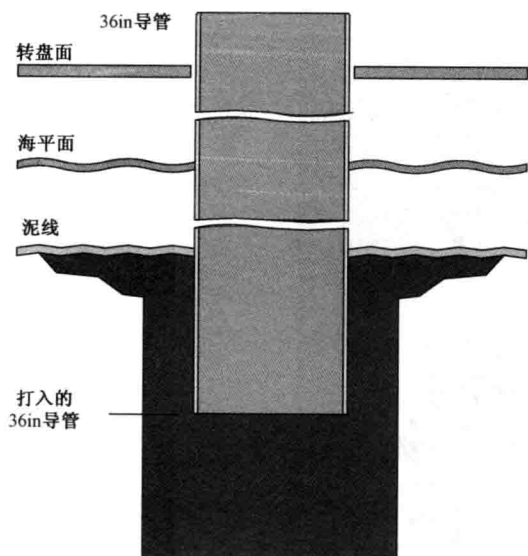


图 1-13 36in 隔水导管入泥示意图

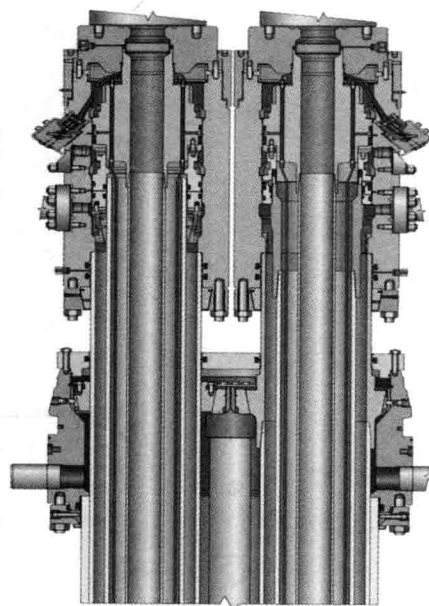


图 1-14 在 36in 隔水导管安装两个 13 $\frac{3}{8}$ in 套管头示意图

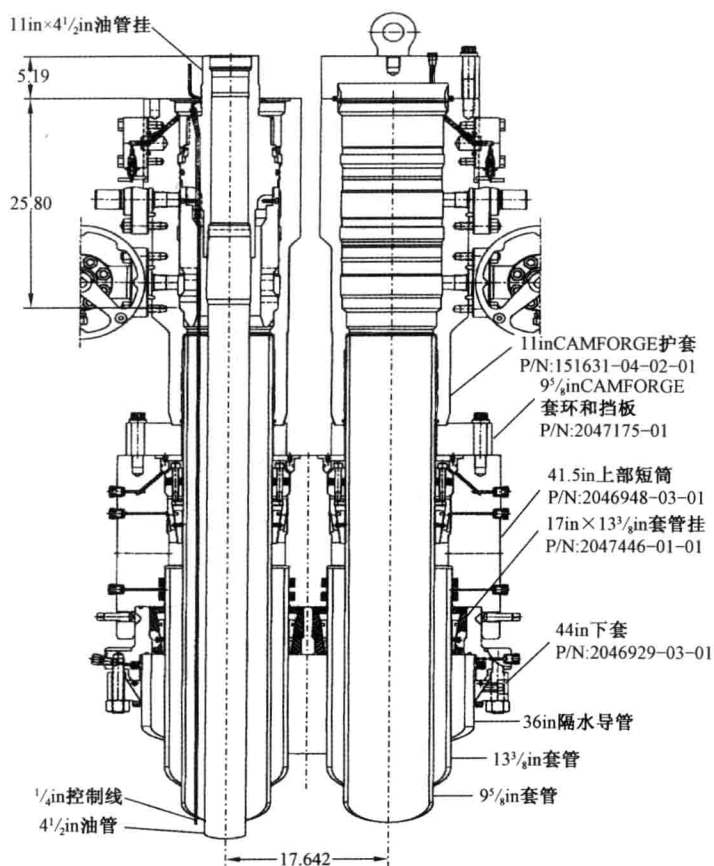


图 1-15 两个 13 $\frac{3}{8}$ in 套管头设计图 1

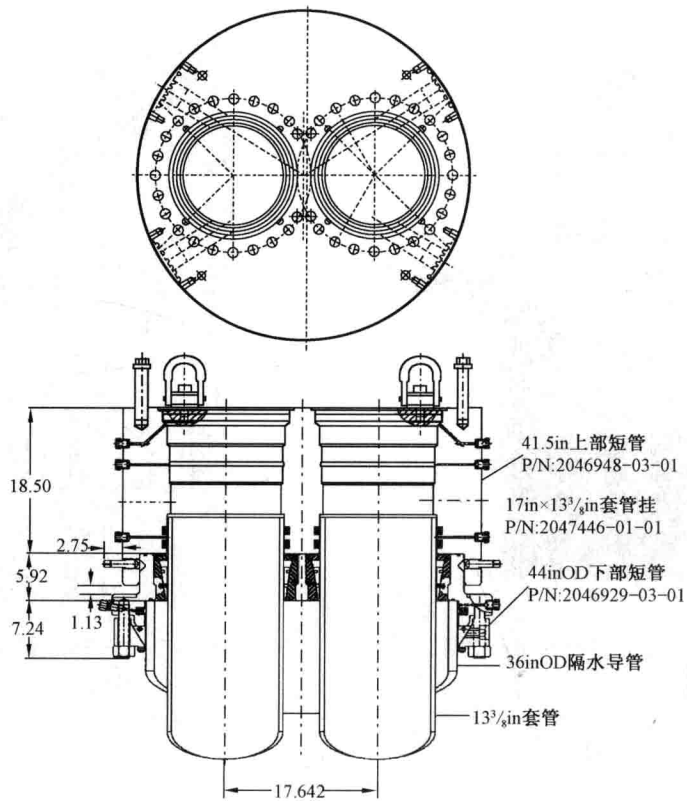


图 1 - 16 两个 13<sup>5</sup>/<sub>8</sub>in 套管头设计图 2

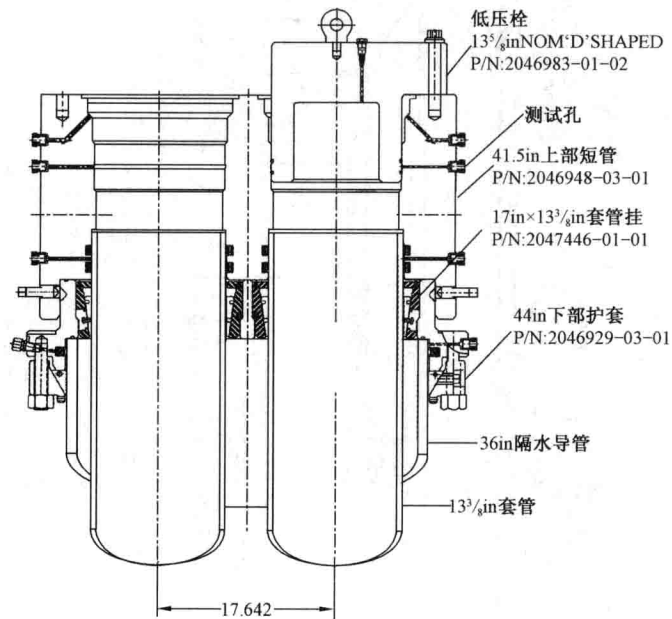


图 1 - 17 两个 13<sup>5</sup>/<sub>8</sub>in 套管头设计图 3

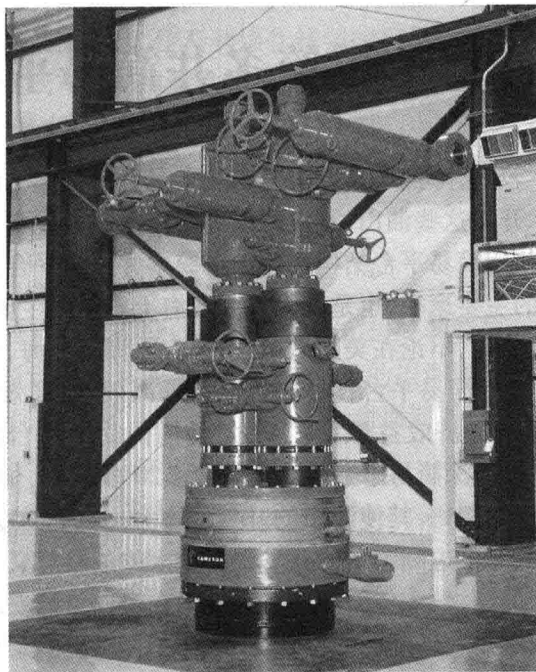


图 1-18 单筒双井 13 $\frac{5}{8}$ in 套管头实物图

## 第二章 单筒多井简易平台

海上的油田开发成本较高,降低海洋石油开采成本是世界各国石油公司竞相追求的目标,而采用单筒多井钻井技术开发这些油田,不仅可以有效降低钻井成本,而且减少了导管架平台的数量或尺寸,尽可能地使用简易平台结构作业。单筒多井简易平台是开发海上油气田、降低工程投资、降低桶油成本的主要途径,也是国内外开发海上石油的主要方向。

世界上一些大的石油公司,不论在美国的墨西哥湾、欧洲的北海,还是在东南亚国家海域,为开发海上油气田,都在研制简易平台,以降低投资,提高效益,高效、快速地开发海上石油。简易平台对海上油田开发的经济效益举足轻重,目前国内简易平台的应用和研究仍局限在40m水深的范围,100m左右水深简易平台的研究较少。20多年来,国外许多公司都在研制简易平台,与传统的4腿导管架相比,其使油田的开发成本和时间都大大降低。因此,简易平台结构设计的研究及优化,对海上边际油田的开发具有重大的战略意义。

简易井口平台起源于美国,数十年前一些石油公司在墨西哥湾安装了一些低成本、临时性的简易平台。简易平台技术是一条降低油田开发成本的有效途径,要设计结构简易的平台,必须具备一定的条件:平台上各种设备要少,质量要轻;所需甲板面积要小,且容易支撑;井口数较少,一般少于6口;平台不设修井设备,修井作业由钻井船进行,这样甲板上部荷载较轻,平台下部容易做成轻型结构。这种简易平台技术与单筒多井钻井技术相得益彰,能有效地节约海上油气开发成本。

中国沿海海域辽阔,大陆架面积约为 $110 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,目前在已发现的油气田中,东方1-1气田及涠洲12-1油田的开发,锦州20-2气田及绥中36-1油田的滚动开发均涉及“能否使用简易平台,进一步提高其开发经济效益”的问题。

近20年来国内外针对小油气田特点,开发了多种类型的简易平台。从油气田总体开发方案方面采取多项技术措施,大大降低了开发费用,提高了经济效益。在设计方案、施工安装程序、钻井、完井、维修保养、操作管理等方面均有许多改进或发展,并在实践中大量采用,取得了很多宝贵的经验。

### 第一节 简易平台的特征及发展趋势

由于建造和安装成本低,简易平台(如独塔结构)在最近数十年受到各大石油公司的青睐,尤其是在建造海上油气田上。在一定水深范围内,随着水深的增加,海洋导管架的建造安装费用呈几何倍数增长,所占总投资比重也明显上升。使用简易平台不仅能在很大程度上节约投资成本,而且还具有以下优点:

(1)制造场地较小,用较少的设备就能建造,可以有较多的厂家来竞争,因此成本可以降低,品质可以提高;

(2)视实际情况,可以用自升式钻井平台、起重船或浮吊驳船等方式来安装,安装方式较有弹性;

(3)有些简易平台可以重复使用。