

卫星通讯改变钻井操作和工艺流程

R. Veenkant, J. D. Vitali
Amoco Production, Co.

冯启宁 译
胡湘炯 校

摘 要

本文叙述关键性钻井设备 (CDF) 通讯系统的设置。文章将讨论在怀俄明的 Anschutz Ranch、阿拉斯加北坡, 以及在白令海的半潜式钻井平台上, 活动和半活动作业的不同井场布置。

在历史上, 石油钻井曾在井场人员与地区总部的专家及管理人员之间没有任何通讯联系的情况下作业, 这在今天的钻井工业中仍然是普遍的现象。现在已发展了一种整套的钻井通讯系统, 它开拓了数字卫星通讯, 用计数法压缩视频带, 钻井数据传感器和计算机系统, 以及实时的数据传输等方面的技术。井场人员和作业的全景电视、传真、声响、表格的输入和存取, 以及钻井数据的传输全部可以达到。在 CDF 中心还可得到实时的注水泥数据和井的测试数据, 以提供专家分析。

CDF 不仅能支持钻井的实时决策, 还能为在同一地区打新井提供可重复的工艺。尽管 CDF 最初是为钻井而设计应用的, 但是它对搞勘探的地质师和经理们也同样有用, 使他们不必离开总部就如同身在井场一样。

引 言

在油、气钻井工作中, 井场工作人员和地区总部的专家、管理人员之间尚无有效的通讯联系, 这在今天的钻井工业中, 仍然是普遍现象。这种状况迫使钻井人员在没有专家指导下就做出许多关键性的决定。井场和总部两方面都没有足够的资料及时处理预料的问题和趋势, 或者解决计划和实际结果间的差别。这种很差的通讯和决策其结果会显著提高成本, 引起一些不希望的和不必要的问题。

今天, 勘探油、气常在地球上边远复杂的地区钻井。在每日成本高达25万美元的海域钻井, 已在勘探工作中占有很大的百分数。

即使勘探井不在边远地区, 它们也常常是技术上难打的井, 如超深井、深海钻井、大斜度定向井、或是在异常的地质条件下、或是在敏感的环境地区、或是上述各种情况的综合, 此外, 它们还可能是以前钻的井。现代勘探中的所有上述情况, 都是投资大, 并且需要最新技术——设备和工程两方面的专家。

本文讲述的CDF通讯系统, 可以采集以下许多重要的工程情况:

1. 提供井场作业的固定图象和全部活动的数字电视卫星传送。

2. 传送用以工程模拟分析钻井计划和评价的实时钻井资料。
3. 传送注水泥和试井的实时数据到中心站，给中心站的工程专家参考。
4. 最初以 768 千位/秒卫星通讯与浮式钻井船联系。
5. 同时进行16道以上信息的双向传输——电视、声响、传真、数字数据等。
6. 最初的项目是从中心站提供日计划、工程支持和钻井监督。

在发展初期，很多人怀疑是否会有大量同行通过电视监视器监视他们的活动。尽管某些不了解者仍然有些怀疑，对于参加者现已没有这种不好的反映。

CDF系统的工作是现场人员和中心站人员之间的一种新的钻井工作方法。目前正在开发一种能及时得到中心站工程师帮助的新协作方法，这种想法和做法是很新的，它远远地走到了发明的前面。

除通讯工业以外，唯一可与比拟的通讯工程项目是NASA（美国国家航空和宇宙航行局）的空间设想计划（见参考文献9）。

CDF系统的核心是钻井模拟技术和CDF钻井操作分类法（选自参考文献1、2、4）。本文介绍CDF的通讯系统和技术元件，通讯系统汇集操作逻辑，以便直接利用井场送给钻井工程中心的实时数据进行工程模拟。CDF的基本原理是以选用井场的有关特性曲线等规律和经验为基础的。

历史背景——通讯和CDF

在传统的石油工业中，通常采用模拟音频通讯和数字数据传输的钻井或采油通讯已经受到微波，商用电话线，Inmarsat 音频线的限制。除了CDF系统，现代的石油工业通讯都以微波和电话网络线为代表，用以保持墨西哥湾海上钻井的数据采集（参考文献5、6），并在海上从浮动式钻井船上的 Inmarsat 卫星音频和测井资料的传输。Inmarsat 是从地球物理船上使用 56 千位/秒数字地震数据传输的（见参考文献8）。Inmarsat 系统对于音频和某些来自近海的数据传输是杰出的。但是，这个系统由于调节的限制而在经济上很不利，它还需要通过海岸进入美国本土，然后靠专线穿过田野，它也受到 2,400 位/秒回程带宽的限制。一个井队整个 CDF 系统的月作业费约与通过 Inmarsat 的一组专用音频线的费用大致相同。

CDF 工程从一个早期的地球物理卫星通讯项目中得到好处，这个地球物理卫星通讯从北坡使用 56 千位/秒传送地震资料。

CDF 系统的技术灵活性和能力在已知的工业通讯系统中是无比的。现有 CDF 系统唯一的地理限制是 Westar V号卫星的轨迹。Westar V号能支持 CDF 工作的地区是从墨西哥湾到北海，阿拉斯加西部到北坡以及整个美国本土。

商用卫星的功率及其灵活性，使得 CDF 临时进入一个新区作业很经济。它不受附近的微波中继站，或长的 AT 和 T 专用线安装时间的限制。CDF 系统的带宽和多路特性提供了同时双向通讯的能力，通讯道数多于16个独立信息道：

1. 四根电话线接（送）于钻机和12台机内专用自动交换机之间。

2. 一道全景电视，由井场的四个彩色摄像机的音频远距离控制，再加一道固定图象的电视道。

3. 二道专用的传真道——钻井和地质。
4. 用于设备管理和船舶动态的二道专用计算机中继线。
5. 四个中心计算机终端。
6. 一个通道用以传输钻井、注水泥和试井数据。
7. 一道用于电测井。

除了电视和电话会议工业外, CDF 是最先应用全景电视, 以至固定电视图象, 数字电视的卫星传送。领先的数字电视 (768千位/秒) 制造商在 1984 年交付 14 台, 其中 6 台用于 CDF, 其它几台用于要求严密的电话会议, 其中大多数用于财政界——银行和保险系统 (参考文献 7)。

CDF 项 目

自 1983 年以来, CDF 项目已经在怀俄明的 Anschutz Ranch 和犹他、西尔岛阿拉斯加北坡、俄克拉何马城西南, 以及近来在白令海 Navarin 盆地和路易斯安那 Baton Rouge 附近参与钻井工作。这些广阔的地区见图 1。在 Navarin 的项目最先使用全部 768 千位/秒 CDF 通讯系统。其它的 CDF 系统则使用只带慢扫描的 56 千位/秒系统。56 千位/秒系统是 768 千位/秒活动系统的原型, 现在还在发展 56 千位/秒半活动 CDF 系统。

Navarin 项目在许多方面都是 CDF 技术的杰出应用。它是在边远地区进行勘探钻井, 那里的后勤供应和作业成本很高, 气候条件恶劣, 以及短而无法预测的钻井季节, 所有这些都要求有效的实施通讯和协调。这个项目示意图如图 2。为了从半潜式 (浮式) 钻井设备上使用 768 千位/秒 CDF 通讯系统, 必须引入平台式稳定的 C-波段天线系统, 并安装在钻井设备上 (CDF 的原型基本是陆地工作系统), 目前, 只有 5 个这样的稳定 C-波段系统, 其中的两个用于 CDF。

管理和地质人员都在丹佛的阿莫科公司地区总部。该项目的日常后勤工作, 管理工作和钻井监督由设在锚地的一个专门办公室领导。CDF 中心和工程人员在公司的 Tulsa 研究中心。每台钻机的三个工程组轮流在井场和 Tulsa CDF 中心工作——一个在井场, 一个在 Tulsa, 另一个轮休。

关键钻井设备通讯系统

CDF 通讯系统和 CDF 中心将支持四台活动的关键钻机同时工作。其扩展系统可同时支持 12 台半活动的钻机进行工作。半活动的钻井系统在本文最后讲述。

井 场

一个活动的 CDF 井场见图 3。这个井场系统的关键部分是:

1. CDF 的井场舱房 (Module) 是一个 28 英尺长, $8 \times 8\frac{1}{2}$ 平方英尺的防爆屏蔽舱, 其中装设数字电子设备、电视会议室和电源系统^①。

^① 这个系统的在陆地上的原型是一个 45 英尺的半拖车。

2. 井场射频 (RF) 屏蔽舱是一个小的 $8 \times 8 \times 12$ 立方英尺的舱房, 其中装置卫星电子设备和天线控制电子设备^①。

3. 一个 $4\frac{1}{2}$ 米的卫星抛物面天线带有电子-液压控制稳定系统, 以补偿浮式钻井船和半潜式平台的升降运动。

4. 远距离控制的彩色电视摄像机以选定的位置安装在钻机周围, 用电缆连接到 CDF 拖车和公司驻井人员办公室。

5. 专用电话、传真以及井上 Amoco 办公室的计算机用电缆与 CDF 拖车相接。

井场 CDF 的功能是为井场和 CDF 中心的管理人员之间提供双向通讯, 以及收集并传送钻井、地质和其它资料到 CDF 中心, 在 CDF 中心存储、处理、显示并解释这些资料。其结果是将重要的工程和操作信息传送给 CDF 中心的工程师和专家们。远离喧闹和高速作业的井场、并有专业人员和计算机资源的中心可同时为 16 口井服务。

中 心

CDF 中心系统 (不包括它的 10 米卫星抛物面天线) 见图 4, CDF 中心包括:

(1) 一个操作室, 室内装有二组 DCC 控制台 (钻井命令和控制 (参考文献 3)), 用以电视通讯和显示多至 4 口活动的、关键井的实时数据。

(2) 两个工程工作室, 每个室内装有钻井工程模拟器 (ESD) 和彩色图象控制台。在这里, 工程师们进行详细的钻井模拟设计和评价。

(3) 一个计算机工作室, 室内装有四台计算机系统——两台重复的 ESD 计算机系统和两台重复的 DCC 计算机系统。还有 CDF 双空调装置和一个不间断供电系统 (UPS)。

在工作室内, 设计工程师、地质师^②、钻井巡回工程师、工作站技术专家和管理人员, 在两台 DCC 控制台上与 4 口活动井和 12 口半活动井通讯。半活动井的某些关键操作, 例如注水泥、地层测试器试井或井控等也传送到 DCC 控制台。在 ESD 控制台上, 工程师可以模拟新井的岸上^③钻井, 评价最佳设计和证实先进的工程模型。在 ESD 控制台上, 固井工程师还可以操作注水泥作业模拟器 (ESC)^④。船长或压载工程师可以在井场的计算机上或在 CDF 中心, 可用海上钻井工程模拟器 (ESO) 模拟浮式钻井平台的载荷、停泊和运动等问题。这个工作室也可作为钻机新领班、钻井工程师, 甚至 CDF 操作人员和经理的岗位培训基地。

由 CDF 实现的勘探工程通讯系统所包含的各个方面在图 5 中说明。

值得注意的是钻杆测试和注水泥是用实时数据和图表输到 CDF 中心的特殊钻井作业。CDF 通讯系统使专家们不必到井上就能对关键的活动做出贡献。

详细的井场 CDF 系统

井场 CDF 通讯系统是最初作为陆地系统开发的原型。它包括一台 45 米可移动天线拖车, 带有一个电子的天线除霜系统和一个射频 (RF) 电子室。一台 45 英尺长的 CDF 拖车,

① 这个系统的陆地原型是在一个带有 4.5 米天线的小的可移动拖车上, 装有射频电子设备。天线陀螺仪控制电子设备不需陆地天线系统。

② 由于公司地质师都在 Tulsa, 他们在 CDF 上只从事专门的试验工作。

③ 也可进行近海钻井设计。

④ ESC 现处在开发的第一阶段, 将在 1986 年初投入工作。

它的一半装设备,另一半是工作室。一台电缆拖车,提供传输用的所有外部电缆和防爆的电视摄像机和控制装置。

为了使系统适用于半潜式钻井平台,天线必须惰性稳定地安装在海上平台的甲板上。在海上应用中的实践证明,还必须用CDF舱房代替拖车。所有外部的电视摄像机和设备都已证实同样适用于海上作业。

1. CDF舱房设计

海上CDF舱房的平面图见图7。舱房被隔成二室,二室之间有一个进出门和一个密封舱。一间屋是设备室,另一间是工作室。CDF舱房本身还有压力控制系统、空调系统和不间断供电系统,以使与舱房相连的所有设备(包括天线和射频系统)持续工作。

2. 天线和射频系统

一台具有惰性稳定底座的4.5米天线安装在半潜式钻井平台上。惰性稳定底座可补偿船体的运动以保持天线与地球同步卫星的相对精确位置。射频设备、天线控制电子设备和伺服控制装置装在靠近天线的那个分隔舱内。

CDF 功 能

CDF的功能框图见图6。一个双重的全时768千位/秒卫星中继线,工作在C波段(6千兆赫发射—4千兆赫接收),提供井场和中心站之间实时的双向通讯。

所有信息通过卫星通讯的接口,接口包括卫星射频设备,调制—解调器和多路开关,如图8所示。

视频编码—译码器(CODEC)接受标准的国家电视系统委员会(NTSC)模拟电视信号,在发射到卫星中继线之前,用计数法压缩这个电视信号到512千位/秒。在接收端,把信号还原成NTSC模拟形式。高的和低的两种发射带宽由键盘选择。我们选择最低的带宽,用这种技术可接收钻井作业全部活动的压缩电视信号。这种视频编码—译码器存储一帧电视信号(或画面)到存储器。当每帧图象继续存入存储器时,它的画面内容与上一帧进行比较。CODEC只变换一帧中的部分画面,即和前一帧相比发生了变化的那部分,并发送更新后的图象。这就是如何完成视频信号压缩的实质。

视频CODEC有一个固定图象通道口和一个声频通道口,使用工作室(图7)的电视通讯系统,这些通道口便与电视会议的全景压缩电视信号同步。一个插入的编密码装置提供信息安全。国家标准局的编密码规则,用作信息的编密码和译密码。编密码键是16进制码的16个字符。在面对面的电视会议上,固定图象子系统可以发送或接收地图,图表或图示控制台上所讨论三维物体图象。发送机具有对摄像的特写镜头或三维物体移向和聚焦的能力。其它的视频输入也可以通过固定通道口。固定图象电视信息保留在监视器上,直到它改变或发送机关断。

显微镜附加在电视摄像机上就能在井场观察钻井岩屑。显微镜—电视信息发送到中心站或其它地方,以便进行直观分析。

在电视通讯控制台前面、计数器上方的一个电视开关(图7),把放在CDF舱房内或放在钻井平台上的任一个摄像机的信号选通到大屏幕监视器上。

计数器上的摄像机控制单元能远距离控制井场摄像机和室内摄像机,对钻井操作和会议提供电视覆盖率(见图6)。摄像机系统可以受三个地方的远距离控制——CDF舱房、井

上公司人员的办公室以及 CDF 中心钻井命令和控制操纵台。远距离控制包括选择对卫星发射的摄像机以及全景摄影、变焦距控制等二方面。

PABX (专用自动交换机) 有 4 道电话中继线, 每道中继线工作在带宽 38.4 千位/秒。现有的结构是能把 24 台电话与 PABX 连接, 这些电话可装在海上平台的任何需要的地方 (CDF 舱房内、公司人员办公室、井场等)。其它设备, 例如 FAX (传真) 机或小计算机也可接到电话线上, 以便选通任何一个与中心站的电话系统兼容的 FAX 机或小计算机。电话 PABX 和 FAX 机处理语言和书写功能见框图 6。

实时钻井数据 (图 6, 录井数据) 以 2.4 千位/秒通过通讯计算机接口。这个计算机提供数据编 (密) 码、误差校正以及在需要时暂时存储。多数录井数据是实时输入, 但若需要还可记录在磁带上。电测井数据先记录在磁带上, 以后再发送到中心站或其它地方。

打印机和终端以 2.4 千位/秒或 4.8 千位/秒直接和多路开关接口。专业办公室系统 (PROFS) 的终端用这种方法连接, 并能访问中心站计算机或者任何一个与中心站计算机连接的地区计算机。对于书写通讯, PROFS 系统是很有效的, 因为在接受信息时, 接受端的人员不必在场, 而在以后的时间给予回答。

详细的中心站 CDF 系统

图 4 所介绍的 CDF 中心包括装有两套 DCC 控制台的操纵室, 两间 ESD 工作室和一间计算机室。

计算机室的组成画在图 9 上。每套 DCC 是用一台带有两个彩色图示仪的 32 位小型计算机执行。每套 ESD 是用 32 位控制处理机, 以及一台 32 位双 CPU (中央处理单元) 计算机, 一台彩色图示仪和一台浮点阵列处理机执行。

目前, 位于 Tulsa 的 CDF 中心有支持三口活动井和两口半活动井的通讯设备。对于每口井和卫星中继线的每一端按 768 千位/秒发射 (接收) 的通讯电子装置是相同的。

现有的通讯电子装置在图 8 中予以简要说明。

对于 ESD 系统的讨论和操作, 参阅参考文献 1 和 2。

DCC 控制台示于图 10, 图象摄像机位于左面上方, 它俯视会议工程师铺在桌面上的地图或图表。往右的另一个 1/4 控制台上, 其上方是固定图象监视器, 它的下面是全景监视器, 以观察井队作业或电视会议。右面那一半控制台包含四个彩色图象荧光屏, 以便监视和研究实时状态显示和时间, 或者钻井工作参数按深度座标绘图。在参考文献 3 中更深入地讨论了 DCC。

图 4 太简单, 不能表示 CDF 工作室内部工程上的工作空间。然而, 这个工作室每周工作 7 天, 每天 24 小时。目前, 有两个钻井工程师和两个 CDF 工作站的技术人员在 CDF 工作室内的设备上工作。紧邻是两个计划工程师和一个钻井管理人员的办公室。

其中也没有表示出设备控制专用计算机和船舶动态专用计算机, 或者维持工程操作的计算机终端。

半活动 CDF 通讯系统

在油田开发过程中, 从费用高昂的油田开发初期到油井成本下降的成熟阶段之间, 有一

个关键的过渡期。半活动CDF 通讯系统已经把最优的钻井技术转变为油田的操作规范,从而能显著地减小所耗费用。

采用半活动CDF系统的目的是要把相应的钻井工艺技术转移到油田。这就需要一种更简单、投资少和操作费用低的装置。然而,它在资料的作用和使用上必须有明显的改变。资料必须用于监视、稳定和精确调整钻井工艺规程。

半活动CDF系统工作示意图见图11,这个系统比本文前面所提的活动CDF系统更简单和更小。在参考文献3中Foreman讲述了CDF中心的钻井命令和控制部分。

在半活动井上,流动工程队将显著减少,轮流在井场和CDF中心工作的钻井工程师可减少到1人以下。半活动系统有一个无人管理的录井资料单元,不必再由2—3个技术员来管理全部录井资料。它可提供注水泥、井控以及地层测试等专门资料。活动系统庞大而复杂的数字电子设备,已显著地减少到只需维持图11所示的基本功能。用一个小的专用计算机代替CDF中心活动井的DCC计算机系统和显示控制台,这个小计算机带有图象显示和监视器,以及硬拷贝绘图装置和硬盘存储器等基本的外围设备。每个系统将适用于一口或二口井。对于注水泥、地层测试和井控等特殊的作业,以及为了专门研究而给ESD预置初始值——半活动井监视器可以把数据向上兼容到DCC和ESD。

参 考 文 献

1. Millheim, K.K., and R.L. Huggins, An Engineering Simulator for Drilling: Part I, SPE Paper 12075, presented at the 58th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of AIME held in San Francisco, CA October 5-8, 1983.
2. Millheim, K.K. and R.L. Huggins, An Engineering Simulator for Drilling: Part II, SPE Paper 12210, presented at the 58th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of AIME held in San Francisco, CA October 5-8, 1983.
3. Foreman, R.D., The Drilling Command and Control System, SPE Paper 14387, presented at the 60th Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers held in Las Vegas, Nevada, September 22-25, 1985.
4. Millheim, Critical Drilling Methodology, to be published.
5. Guidry, Tom, Data-acquisition System Cuts Drilling Costs, Oil and Gas Journal, August 5, 1985, pp. 101-102.
6. True, W.R., Data System Tightens Tenneco Gulf Operations, Oil and Gas Journal, Sept. 10, 1984, pp. 176-179.
7. Telespan, Vol. 5, No. 7, July 15, 1985.
8. Calvit, T.O. and L.B. Heitman, High Speed Satellite Data Transmission of Maritime Seismic Data, AIAA 8th Communications Satellite Systems Conference, Orlando, FL, 1980.
9. Digital Image Processing: A Systems Approach, William B Green, Van Nostrand Reinhold Electrical/Computer Science and Engineering Series, 1983.
10. Foreman and Beynet, The Engineering Simulator for Offshore Drilling Vessels, May 1986, OTC, to be published.
11. Vitali, J. D., Phelps, J. R., Black, R. M., Sandkuhl, D. L., Sanders, J. W., Satellite Communications System for a Critical Drilling Facility, Amoco Production Company Report F84-C-10, July 18, 1983 (Proprietary Amoco Corporation Document).

表 1 CDF中心特征

- 同时维持4口活动井和12口半活动井。
- 每个ESD装有2台32位CPU和彩色图象工作台。
- 每个DCC装有32位CPU和四屏幕彩色图象工作台。
- 24兆字节RAM。
- 3,000兆字节硬盘,10个驱动器。
- 3,000平方英尺地板地作为放置设备和工作场地^①。

① 未包括工程技术人员的办公室占地。

- 34吨空调
- 24千瓦110伏交流电源。
- 指向C波段卫星的一个10米天线。
- 768千位/秒活动井系统卫星带宽。
- 56千位/秒半活动井系统卫星带宽。

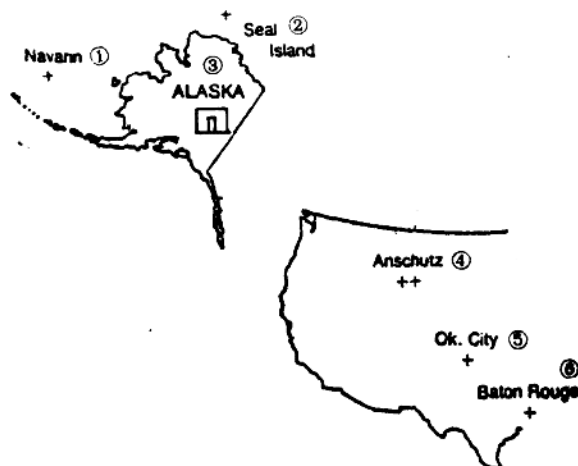


图 1 CDF工程(1984—1985)

①Navarin; ②西尔岛; ③阿拉斯加; ④Anschutz; ⑤俄克拉何马城; ⑥Baton Rouge

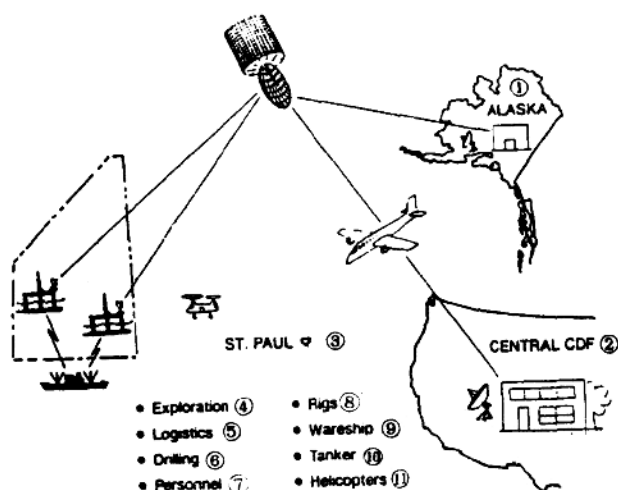


图 2 Navarin工程通讯系统

①阿拉斯加; ②CDF中心; ③圣保罗岛; ④勘探; ⑤后勤; ⑥钻井;
⑦人员; ⑧钻机; ⑨供应船; ⑩油轮; ⑪直升飞机

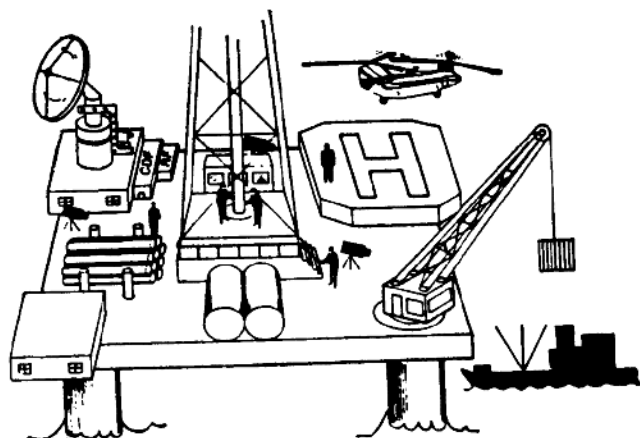


图 3 井场CDF

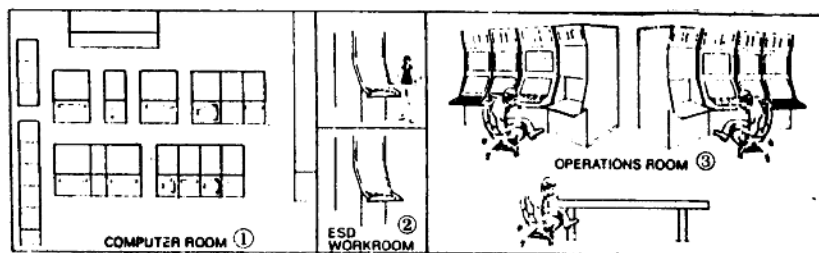


图 4 CDF 中心

①计算机室；②ESD工作室；③操作室

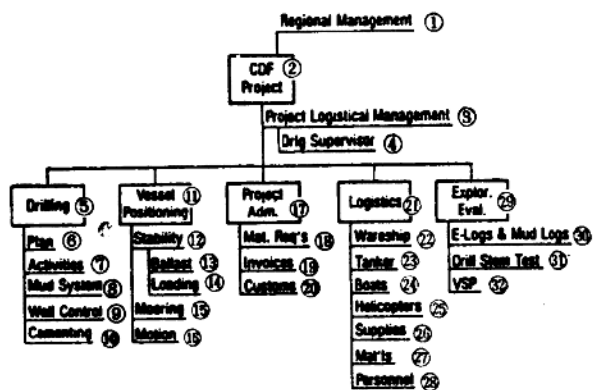


图 5 CDF工作框图

①地区的管理；②CDF工程；③工程后勤管理；④钻井监督；⑤钻井；⑥设计；⑦工作情况；⑧泥浆体系；⑨井控；⑩注水泥；⑪船舶定位；⑫稳定性；⑬压载；⑭载荷；⑮锚泊；⑯运动；⑰工程管理；⑱所需材料；⑲货物托运；⑳用户；㉑后勤；㉒供应船；㉓油轮；㉔汽艇；㉕直升飞机；㉖补给品；㉗材料；㉘人员；㉙勘探评价；㉚电测井和泥浆录井；㉛钻杆测试；㉜VSP

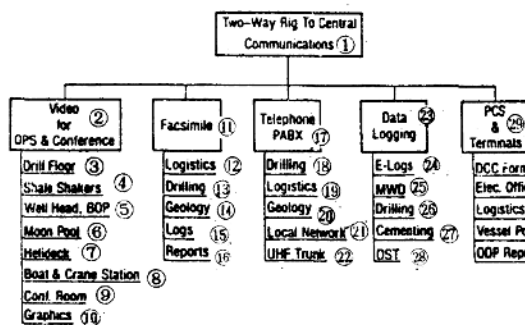


图 6 CDF功能

①井场和中心站之间的双向通讯；②操作和会议的电视；③钻台；④泥浆振动筛；⑤井口防喷器；⑥月形场地；⑦直升飞机甲板；⑧汽艇和起重机场地；⑨会议室；⑩图表；⑪传真；⑫后勤；⑬钻井；⑭地质；⑮录井；⑯报道；⑰专用自动电话交换机；⑱钻井；⑲后勤；⑳地质；㉑机内网络；㉒超高频中继线；㉓录井资料；㉔电测井；㉕随钻测量；㉖钻井；㉗注水泥；㉘钻杆测试；㉙专用计算机系统和终端；㉚钻井命令和控制类型；㉛电子办公室系统；㉜后勤物资清单；㉝船舶定位；㉞ODP报告

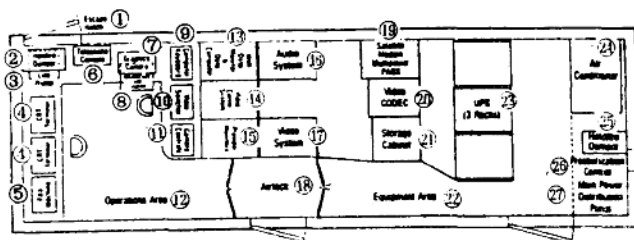


图 7 CDF组房平面设计

①太平门；②阻尼器；③行打印机；④传真机；⑤电话控制台；⑦图象摄像机；⑧……；⑨计算机键盘；⑩电视开关；⑪摄像机控制；⑫工作室；⑬数据监视器和数据计算机；⑭电视公共系统；⑮预检监视器；⑯音频系统；⑰电视系统；⑱密封室；⑲专用自动交换机；㉑电视编码一译码器；㉒存储；㉓设备室；㉔不间断供电（三条导轨）；㉕空调；㉖同2；㉗增压控制；㉘主电源分配板

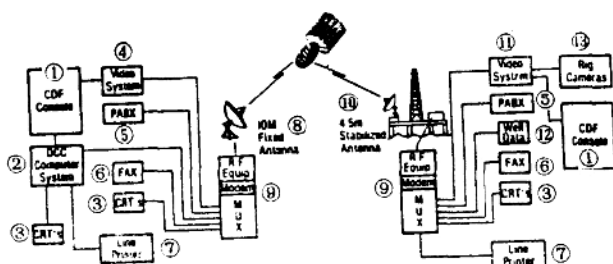


图 8 数据/通讯系统方框图

①CDF控制台；②DCC计算机系统；③CRT；④电视系统；⑤专用自动交换机；⑥传真；⑦行打印机；⑧10米固定天线；⑨射频设备，调制一解调器，多路开关；⑩4.5米稳定天线；⑪电视系统；⑫并眼数据；⑬井场摄像机