

国外钻井技术

(第二辑)

1980

科学技术文献出版社重庆分社



07/23/18

TE242

4

3:2

目 录

- 未来的钻井装置.....W. D. Moore 张鼎勃译(91)
 油田用钻机的自动控制.....H. M. Hanafi 钱永德译(94)

钻井工具

- 旋转钻井钻头.....R. D. Grace 等 鲍有光译(96)
 金刚石钻头钻井现状与发展.....H. J. Panhorst 蔡礼澜译(118)
 井下动力钻具的新发展.....J. E. Tschirky 林仲豪译(122)
 中硬地层的多晶金钢石钻头.....林增栋 徐乍英(127)
 金刚石钻头.....Philippe Tricot 等 史崇周译(131)
 单粒金刚石切削作用的分析.....F. C. Appl 等 王亚禧译(136)
 深井用新型涡轮钻具和静液式井下动力钻具.....
等 Ю. Р. Иоаннесян 杨敏嘉译(150)
 深井钻井中钻头性能和工作寿命.....Claus Marx 张勃立译(159)
 岩石被齿圈和整体齿圈破碎的研究...В. В. Симонов等郭公喜译(171)
 岩石破碎过程的能量及钻屑颗粒组成的研究.....
В. В. Симонов等 杜曾荫译(180)
 关于牙轮钻头进一步改进的某些方向.....
В. В. Симонов等 郑常斌译(189)
 怎样进行牙轮钻头的磨损分析.....严巨源译(194)
 怎样更经济地使用钻头.....Claude R. Garner 等 涂必城译(197)
 西邱里提公司的钻井减振器.....叶 菲译(199)
 减振器能改善钻头工作性能.....叶 菲译(200)
 井斜稳定器.....А. С. Дворецкий 蔡礼澜译(201)

海洋钻井技术与工艺

- 海上作业危险的评价和控制.....H. F. Gyorud 等 包玉俊译(202)
 最新型三沉箱半潜式钻井船.....刘希圣校 诸 奇译(207)
 用管子缩径和堵塞技术控制海洋油井井喷.....高玉甫译(210)

定向钻井的应用和改进

W. J. McDonald 等

定向钻井在目前能源开采技术中是重要的，并且今后同样会变得越来越重要。本文详述了定向钻井的局限性以及能源技术中现在和将出现的先进系统的概念。

影响 钻井实质上影响着所有新旧能源开采技术。随着急需加速勘探近海和其它边缘地区的资源，定向井对石油和天然气的开采，将变得越来越重要。

要是技术上和经济上可行，则甲烷排出、油页岩的就地蒸馏和煤的地下气化等都将需要定向钻井。为节省成本和减少对环境的影响，在地热开发中定向钻井也是重要的。

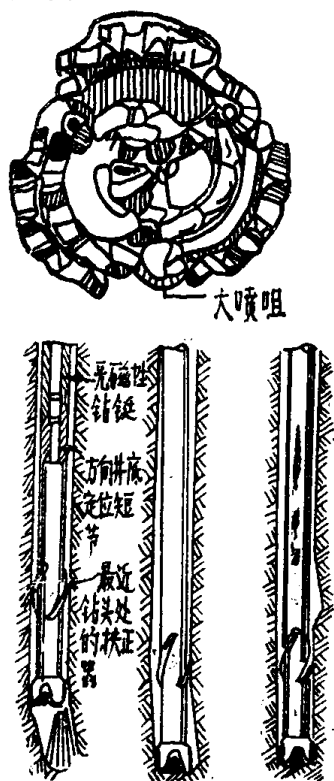


图1 定向喷射

甚至像太阳和核子这样的能源形式，往往也要依赖于发现和采出原料的方法，包括定向钻井。

发展趋势 预计定向钻井在今后十年间有重大的增长。在着重于增加定向钻井的同时，将会出现一些新的井下系统，这些新系统会提高机械钻速，减少停钻时间并增强安全性。

- 可以实时监视井下情况的随钻随测 (MWD) 系统，目前正变得可供实用。
- 改进的井底马达，有希望通过提高钻头功率、改善钻头水马力和减小钻柱的磨损来提高钻井效率。
- 小井眼钻井和水平钻井技术正在发展中。
- 正在发展硬件系统以提供推力和控制井底马达。
- 目前正在发展的，例如斯特腊塔帕赫 (Stratapax)* 钻头、高速牙轮钻头及金刚石

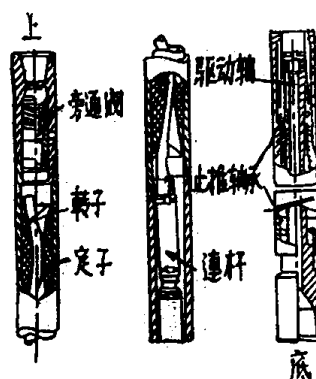


图2 迪纳钻具马达

* 商品名，一种人造金刚石钻头

刮刀钻头等，将大大提高钻井速度并改进井眼的定向控制。

定向井的前景 可控的定向钻井是沿着一条设计的路线钻向一个指定目标的过程。虽然通常认为定向钻井能达到计划中的斜度，但是要钻成一口真正垂直的井眼可能是一个困难的“定向控制”问题。

定向钻井最普遍地应用于近海油田的开发，以减少平台和后勤费用。然而，在石油工业以外的应用也正变得愈来愈多，并且更加推动定向钻井技术的改进。

由于成本、钻井速度的降低以及产生的钻井问题等，限制目前在某些方面使用定向钻井；明显地受经济支配（如近海）的地区，即使可以钻井，但是也有困难或受到禁止（如无法接近和某种规章的约束）。

由于下列一些因素，必须对定向钻井的技术、定向钻井的经济性以及实用性进行重点改进，这些因素包括：日益迅速上涨的钻井费用；在费用昂贵的近海和边缘地区增加了的勘探量；需要提高开采效率；几种可供选择的能源对先进钻井技术的依赖关系，以及生态的和社会的限制等。

要改进的关键部件大致是：（1）便宜和

可靠的随钻随测系统，特别要适于实时检测；（2）具有提高了可靠性、使用寿命和功率的井底马达；（3）改进了质量的钻头和钻头水马力；（4）可变角度的弯接头，以便井眼能较好的转向和控制斜度。

一些随钻随测系统在目前或不久以后可供采用，并且在钻井井底马达方面正以较大努力进行改进。所有这些和其它钻井方面的改进，对于定向钻井的影响将是意义重大的。

可控的偏斜 根据需要，沿着计划的斜度方向钻一口井的技术已经得到改进，并且一般都能满足目前大多数的应用。实现这种造斜和钻井过程的要素，可以分为以下几点：

- 1. 造斜工具
- 2. 钻井井底马达
- 3. 定向检测的仪表
- 4. 定向钻井专业人员

造斜工具 对于一口定向井，准确的初始造斜和定向是首要的条件，下面这些工具可以达到这个目的，包括：弯接头、造斜器、喷射钻头及钻斜井用的活动接头。

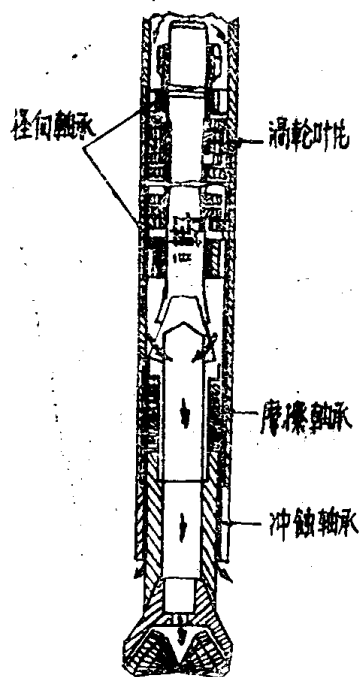


图3 标准涡轮钻具

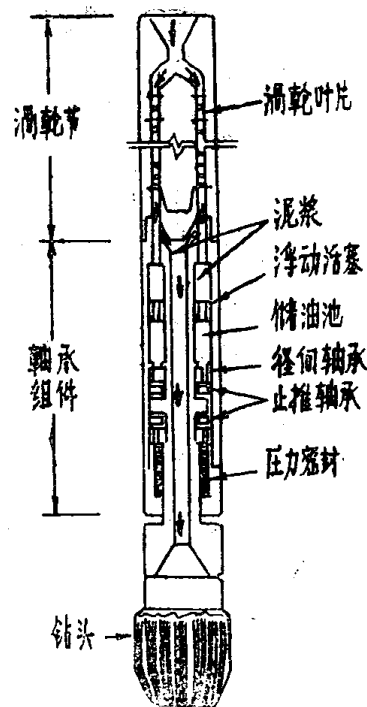


图4 先进的涡轮钻具

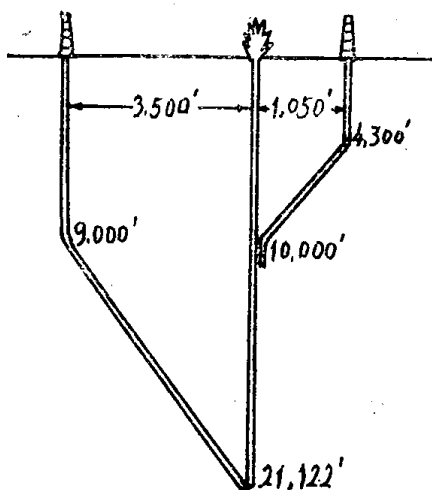


图5 用于压井的定向救险井

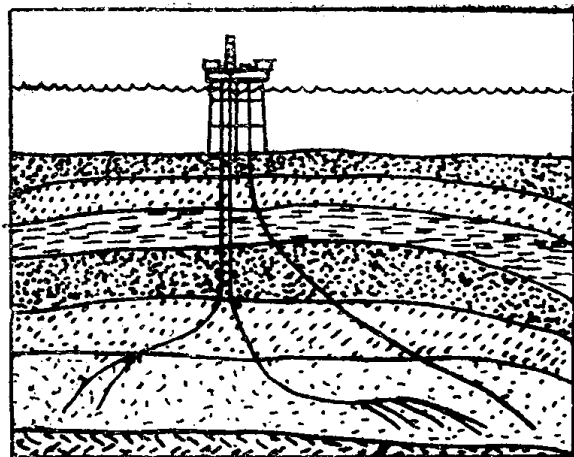


图7 定向的开发钻井

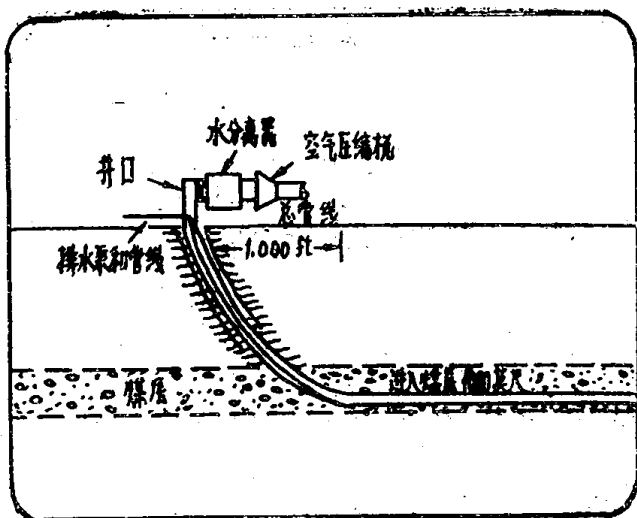


图6 定向的甲烷排放井

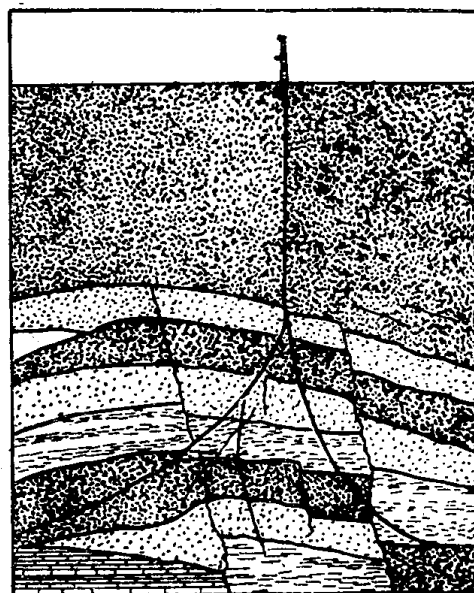


图8 复杂地层的勘探与开发

除了造斜工具外，改变钻压和井底钻具配合形式也能有效地实现定向控制。往往使用螺旋形钻铤或方钻铤来增强井底钻具的刚度，矫直定向井。

在定向控制的所有方法中，都要采用改变钻压的措施。不管是否使用专门的转向接头，因为钻压的改变，可以补偿或利用重力摆的作用、钻柱的挠力、地层的变化以及由于旋转产生的摆动倾向，特别是用标准三牙轮钻头时。

弯接头是优先选用的定向工具，无论在哪里都可能用到它。有时候弯接头也许是一个弯曲的井底马达的外壳，产生的推力作用于钻头上使钻头与其法线方向成一定角度。可是，它往往不能提供足够的定向的侧向力

以侧钻一口新井，或者改变井的方向以越过粒状硬岩石。

一个弯接头可以在360°的方位角内变化，但是，弯接头的造斜工艺，需要采用井底马达来配合。

可以使用造斜器使井眼偏斜，侧钻水泥塞或矫直弯曲的井眼。造斜器基本上是一根支持和引导钻柱总成较长的凹形钢楔子。

处于井底的楔刃可防止造斜器产生旋转。在造斜器上部使用重型钻铤以便从井里取出工具。

利用造斜器造斜要进行多次起下钻，但只能钻进极短的一段井段。通常，由于它比

其它造斜工艺的费用高，所以只有在其它造斜工艺不能使用的情况下才能采用。

使用喷射式钻头是改变井眼方向最快和最经济的途径之一（图4）。这种工艺是富有吸引力的，因为它毫不需要额外的设备并且同样的那个钻头还能使用于喷射钻进。

喷射造斜只限于在非常软的沉积层进行。

活动接头是一种特殊型式的钻井支撑工具，设计成能使井打斜。它是一根弹簧加压的球形万向节，连接到钻杆上允许钻头沿着与钻柱中心线成一定角度的方向钻进。

由于这种工具不能按照额定方位造斜，除非与造斜器一起使用，否则钻成的井只能是任意方位和盲目侧钻，因此，活动接头现在已极少使用。

钻井井底马达 井底马达和弯接头结合使用，是一种控制定向钻井最好的工具。井底马达在近海平台钻井中的应用，鼓舞了许多公司努力从事井底马达的研究和发展。

井底马达的研制工作主要集中在莫伊纳型马达和泥浆涡轮上。它们各有优缺点。

关于电动钻具和正排量叶片型泥浆马达的研制工作也正在进行。

以迪纳钻具（Dyna-Drill）为代表的正排量式井下马达基本上是由最初研制来泵送稠的磨励性砂浆的莫伊纳泵修改的。

图2所示的迪纳钻具是美国使用最广泛的定向马达。此外，如贝克公司和克里斯坦森公司，目前也都在提供类似的钻具。大多数莫伊纳马达在300—500转/分的转速下工作，但有一些较新的马达（如贝克公司）则在较低的转速下工作。

止推轴承通常不密封，一个液流分流器分出10—20%的泥浆通过迪纳钻具的止推球轴承。

涡轮钻具广泛地应用在欧洲、中东和苏联（图3）。苏联目前用涡轮钻具钻的井占60—70%。

大多数涡轮钻具安装橡胶摩擦轴承，这

种轴承的止推能力很低，在磨励性钻井泥浆中很快磨损。

涡轮钻具下部的冲蚀轴承，是由流经摩擦轴承的大约20%的泥浆冷却和润滑的。

现在的钻井马达有许多缺点，包括：转速高（300—1000转/分）；扭矩低和输出功率较低；钻头压力低（7—21公斤/厘米²）；长度过长；工作温度受到严格限制；轴承寿命短以及钻压的提高也受到限制等。

由于这些缺点，正在发展一种经过大大改进了工作性能的新型钻井马达。例如图4中所示的那种涡轮钻具，它的新型高扭矩涡轮，能发出比现用涡轮高2—4倍的功率。

新设计中还采用了一种密闭润滑系统，使止推和径向轴承能在一个充满润滑液的储油池内工作，因而大大地提高了轴承寿命。

改进了密封结构，允许钻头压力降在高达70公斤/厘米²时能长期工作。

图4中的那种涡轮钻具已经发展了一种高温变型，以便在温度高达350℃的地热井中使用。

现在的井底马达转速（300—1000转/分）太高，不适用于牙轮钻头的最佳转速（50—200转/分），因此，钻头轴承往往5—15小时后就磨损。

钻头公司都在普遍地开展关于高速牙轮钻头使用到井底马达上的研究工作。桑迪亚实验室和一些钻头公司正在进行有关高速斯特腊塔帕赫钻头的研制，这种钻头利用了能有效地钻硬岩层的人造金刚石切削元件。

斯特腊塔帕赫钻头适合于在高转速下工作，看来在高速涡轮钻具（400—1000转/分）上使用是较理想的，因此可以更多地用于钻井马达。

定向检测 定向控制钻井需要频繁的检测钻井井眼的方位、斜度和钻具的朝向。最简单的仪器是磁法测量的“单点”和“多点”测斜仪。

一般把仪器下放到井底，在无磁性钻铤内定向，并用组合罗盘及斜度指示仪拍摄照

片。

这种仪器不适用于很大的角度。

还有使用陀螺仪进行检测的，特别是在已完成的井中。这种仪器更为精确，但是比单点测斜仪强度差和价格高。

在尺寸、可靠性和强度方面改进后的磁通量闸门罗盘和电子测斜仪一起，已经允许在非常复杂的应用中使用这些仪器，例如在定向钻井操作过程中进行检测。

以往是采用比较简单的步骤计算并标绘井身曲率图。目前，可以利用小型可编程序计算机，精致的现场电子计算机和更连续的测点，绘制出更加精确的井身曲率图。

定向钻井专业人员 定向钻井目前还只是一门技术，而不是一门科学。除非司钻是非常有经验的，否则需要一个专门的技术人员来到井场指导定向钻井操作。定向钻井的工程技术人员，在工具性能和处理复杂的钻井情况方面具有广博的实践经验。

通常，定向钻井专业人员应留在现场工作直到完井为止，在近海平台上，大约需要10—20天。一般情况，这些专业人员希望留在同一地区并为同一顾主工作。这样他们熟悉该地区的钻井情况并随时间而增加。

限制和要求 定向钻井技术一般能充分满足目前的钻井要求。通常在水深61米(200英尺)或更深的钻井平台上，要求钻一口深度3048米(10000英尺)和井底靶心离井口中心距为914米(3000英尺)的井时，钻头位置的偏差不会超过30米(100英尺)的范围。从一个钻井平台上能钻几口井，也不会有任何井相互串通。

作为定向钻井能力的一个例子，1970年曾钻了一口定向井与猛喷着的井相交，在猛喷井的套管上钻了一个洞，并泵入水泥浆到井中，将这口井压住(见图6)。

上述的定向井是用井底马达造斜钻进，平行于猛喷井并与该井井深3200—3231米(10500—10600英尺)的套管处相遇。

尽管定向钻井能满足大多数油田的应

用，但是还不能完全满足其它方面的许多要求，例如图6中所示的浅井，这口井从地面开始几乎是垂直的，然后斜向钻进到深部成水平。

在这种类型的定向井中，主要问题发生在：钻压减小；角度迅速增加；起钻困难；严重的套管磨损；使钻杆疲劳；降低钻柱刚性；测量仪器问题以及费用过高。

由于技术和费用的限制，还将需要作重大的改进之后，定向钻井才能广泛使用。

钻压 问题出现在高斜度井中，如图6所示，因为钻柱和井壁间的摩擦减小了钻压。在极个别情况下，钻压甚至降低到零并使钻井停止。

必须发展重力以外施加给钻头压力的方法。

能达到这一要求的系统，可以使用的有：壁锚推力器，导轨型推进器，锥形扩眼器，低压金刚石钻头或液力加载的封隔器。

所有这些系统已经证明它们可以施加推力到垂直井眼中的钻头上，但是，将需要改进这些工具，才能把它们用于高斜度的井中。

角度形成 在大多数油井中，能在几千

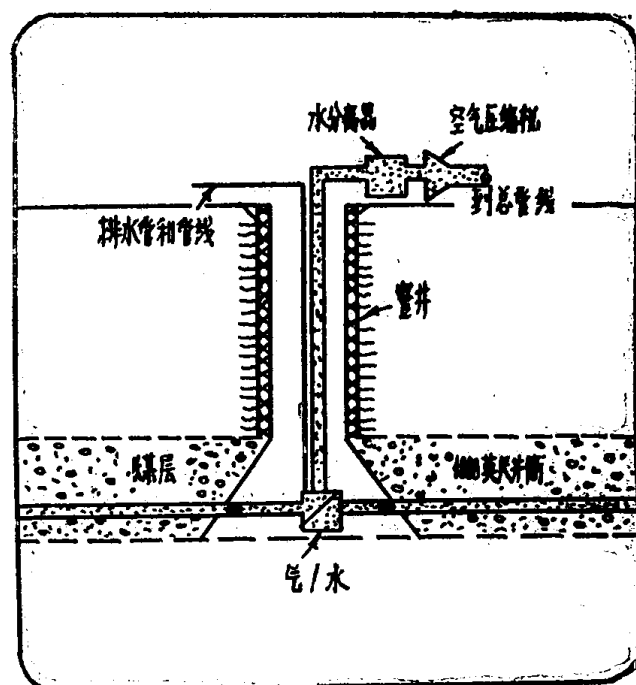


图9 水平甲烷排出井

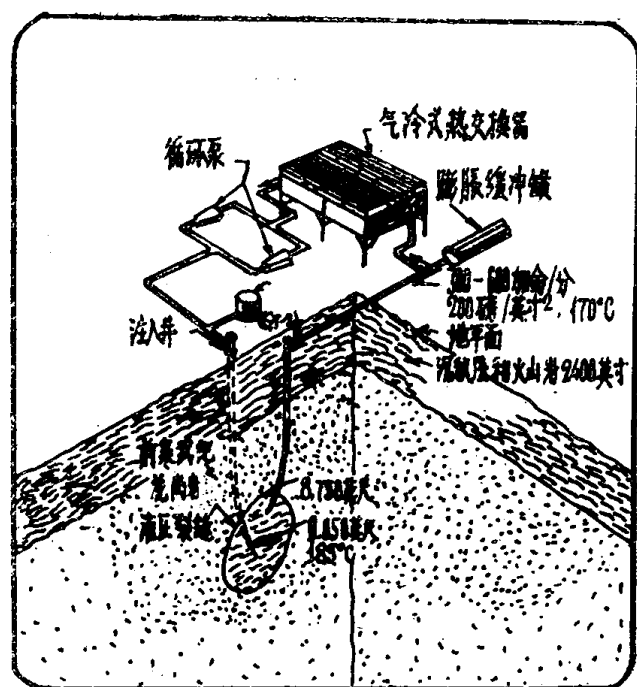


图10 LASL钻井示意图

英尺长的井段形成较大的斜度变化，但井斜变化率很小。例如，通常在井底马达上面连接 $0.5-2^{\circ}$ 的弯接头，最大井斜率一般是 $5^{\circ}/100$ 英尺。

在许多新的应用中，要求在305~610米（1000—2000英尺）的垂直深度时，最大井斜达到 90° ，这就需要特殊工具，如大角度可变弯接头；弯曲外壳的井底马达；井底马达下部的活动接头或万向接头；和短井底马达或弯曲的井底马达。

起钻 从急剧弯曲的斜井（如在1000英尺 90° ）中取出钻柱将是一个重要的问题。在钻井时钻柱是受压缩的，因此能很容易地通过弯曲井段，当从井里起出钻柱时，它在弯曲井段处于拉伸状态，因而产生能使钻柱破坏的高拉力和拉应力。

从高斜度井中起出钻柱可能的的方法有：在靠近钻头处使用一个封隔器把钻柱从井里泵出来；用一根设置在钻柱里面的钢丝绳把钻柱拉出来；或者采用套管钻井并把它最后留在井里。

套管磨损 当钻柱在高斜度井中旋转时，会引起套管的极度磨损，最后导致套管损坏和破裂。采取一些措施可减小磨损速度，

即：使用井底马达消除钻柱旋转；沿着钻柱装一些旋转接头；高润滑性钻井液或在钻井液中投放微型轴承的滚珠。

钻柱在斜井中旋转可能严重地使钻杆扭曲和疲劳，因而容易导致钻杆过早地断裂和出现打捞事故。

钻柱的刚性 高斜度井中，钻柱必须是较易弯曲，以便通过急弯井段，同时也应具有刚性足以控制直井段中的钻头。

可能解决这个问题的途径有：能在直井段变得更为刚性的特殊组合钻柱；承受内压时变得刚性的井底钻具总成；或者是在直井段与井壁接触的膨胀式扶正器。

测量仪器 大多数油田的测量仪器由于种种原因无法在水平井眼中使用。重力测斜仪完全失灵，因为设计这种测量仪器只是为测定与仪器中心线垂直的磁场。

为了在高斜度井中使用，需要研制一些特殊的测量装置。

过高的费用 定向钻井支付两种费用，即直接的定向钻井工具费用和劳动力费用，这些费用由于定向钻井工艺所造成的钻速低和时间耗费的间接费用而都增加了。

费用过高的原因可粗略分为：较低的钻速；由于定向控制和测量井斜损失了钻井时间；井底马达的费用及遥测工具的费用。

为了严格定向控制（钻压肯定是比较低的），以及钻头与井底马达的特性不能很好配合，因而钻速减慢了。根据现用的造斜技术，可能需要经常起下钻，以变更或替换井下工具，结果减少了有效的钻速。

测量井眼角度和方位要花费钻机的有效时间，并且导致间断的钻井作业。如果在井下测量时造成卡钻，那就是一个严重的问题了。

在泥浆处理费用中，也反映出另一种停工的费用。当泥浆泵停泵这么长的一段时间，就无法处理泥浆使之循环一周以上，这也给井眼造成复杂情况。

昂贵的井底马达费用在定向钻井中可能

钻井井底马达出租费

表 1

尺寸 (英寸)	迪纳钻具* 费用		
	8 小时 (美元)	超过 8 小时 (美元/小时)	备 件 (美元/天)
1 ³ / ₄	450	45	8
2 ³ / ₈	550	55	12
3 ⁷ / ₈	1050	125	20
5	1115	130	25
6 ¹ / ₂	1180	140	30
7 ³ / ₄	1240	145	35
9 ⁵ / ₈	1375	160	40
伊斯曼涡轮钻具*			
5 ¹ / ₈	1120	132	30
6 ³ / ₄	1185	138	35
7 ³ / ₄	1250	145	40
10	1390	155	45

*引自1978年制造商产品目录

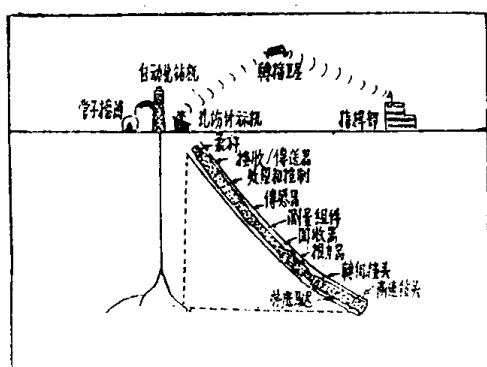


图11 先进的定向钻井系统

是一项较大的开支项目。表 1 列出了迪纳钻具和伊斯曼涡轮钻具的费用。

采用井底马达后，另一种潜在的较高费用是钻头。高的旋转速度能迅速地磨坏普通三牙轮钻头(例如一个9¹/₈" 三牙轮密封硬合金齿钻头价值约 4000 美元)。有时使用金刚石钻头，但在扣除回收金刚石的价值后，一般也超过普通钻头。

遥测工具费用之高已经限制了它们的使用。传感器部件的费用每天是1200—1400美元，还要加上每天大致相同的电缆使用费。预计新的泥浆脉冲装置的租金大约每天2000—3000美元。

今后的应用 可以通过资源开发(如石油、煤、铀等)或普通技术这两条途径的实践来检验定向钻井的应用。

资源开发实践重点在于使用的广度上，只有当费用很高的石油资源和代用能源的开发变得合算和必需时，定向钻井才能存在和得到发展。表 2 列举了12种资源类别以及对定向钻井的使用。

定向钻井的应用

表2

石油

近海，有“敌意”地区的开发
城市和进不去的地区开发
增进开采量
侧钻和井的破坏
井场位置的改善
救险井
复杂地层的勘探
重质原油的开采

致密含气砂岩(泥盆纪和西部)

增加出气量
增强裂缝(压裂和爆炸)

油页岩

就地蒸馏
改进炸药填装和裂缝

煤

勘探
甲烷排出
就地气化
竖井钻凿和天井钻进
矿山救援

铀

测绘
溶解开采

地热能

裂缝封隔系统
改进生产能力
改进可注入性
压裂

地下油库

减少发生问题
井替换

废物处理(核子的、化学的等)

改进注入性

战略石油储存

公用工程设施

管线穿越
大城市公用工程服务

矿物勘探和开采

开凿隧道

石油 作为其应用的一个例子，图7表示一个巨大的近海油藏的开发。特别有意义的是“分枝”技术，它有可能用减少需要的井数来降低开发费用。这种从接近地面就控制转向，既可降低费用也可减少井眼相碰的潜在危险。

图8所示为在复杂地层中勘探和开发的分枝钻井技术。据苏联刊物报导，这种技术已经用在各种不同的场合，此时井斜率可高达每100英尺30°。

在钻这些井眼时，可使用带万向接头的多节涡轮钻具。

迄今，大多数近海油井是定向钻成的，而大多数陆地井是垂直钻成的。由于增加了环境和社会性约束，可以预料今后将会从多井钻台上钻出更多的陆地定向丛井。

在荷兰(如格朗尼吉油田)及其它人口稠密的一些欧洲国家，早已钻凿陆地定向丛井，并且，可以预料这种趋势将在美国增长。一个在地热钻井方面第一流的专家最近预言：“在不远的将来，美国的全部地热井将从多井钻台上定向钻成”。

一种通过从隧道中定向钻井开发油田的设想，若干大石油公司已经给予了认真的考虑。因此，打算在平常是由大浮冰层覆盖着的近海地区下面，开凿20—100英里长的隧道并从这些隧道里的地下室钻定向井。

这将使陆地钻机可以使用于这些有“敌意”的近海地区钻井，并将不再需要建造那种能够耐巨大浮冰层的重型近海结构物。

煤的就地气化 某些用于地下煤气化的开发概念，要求钻一些保持在煤层内、控制良好而且基本上是水平的井。

钻这类井眼要使费用上是可行的方法，主要表现在技术上的困难。

甲烷排出 经济学者(DOE)作过估计，煤层中有250万亿立方英尺的甲烷可以回收利用，这等于现已探明的全部天然气储量。

仅匹兹堡市地下的煤层就含有0.6—4万亿立方英尺可回收的甲烷气。

经济学者试验证明，煤层中305米(1000英尺)长井眼每天能产生10—20万英尺³的甲烷。从地面钻定向井(图6)或从如图9所示的竖井中钻水平井都能生产甲烷气。

定向井眼从竖井井段分枝出去可以减少需要的竖井数。

矿物的勘探与采收 在铀的开采测绘和发展浸沥系统已经使用了定向钻井，并且是在推荐应用的核原料开采技术中不可缺少的。由于需要非常密集的井距确定成矿的结构、品级和体积，这种技术对更深部成矿具有极好的潜力。

这种定向钻井技术还应用于其它矿物，如铜矿。

地热钻井 地热开发的一些情况要求能成功地和经济地钻出定向井。洛斯阿拉莫斯科学实验室(Los Alamos Scientific Laboratories)正在实施“热干岩”计划(Hot Dry Rock)所需要准确控制的高温定向钻井，如图10所示。

近来，在拉夫特河(Raft River)(见油气杂志1978年12月25日版第198页)和其它地区的试验已经证明：在接近原来的井底再钻若干口定向井，能够把地热井生产能力增加到2~4倍。

由于定向钻井能穿透更多的裂缝，所以从天然裂缝中可生产最大限度的热水和蒸汽，从而提高了生产能力。这种技术在开发地热资源方面，完全有可能获得普遍的使用。

公用工程设施 在江河或道路下面的管线或管道设施是公用工程工业的一个基本部分。这就可能需要大直径的、相当长的、准确定向的水平井。电力研究所(EPRI)正在肯塔基、华盛顿为一项“液流研究”(Flow Research)计划筹集资金，以便为在大城市地区设施公用工程系统而发展一种经济的、能钻达610米(2000英度)长度水平井的系统。

对于这些和其它公用工程应用的关键是

钻井费用合理和定向控制准确。换句话说，要求在定向钻井技术上有大的突破。

今后的发展 预料定向钻井的作用在今后能源开发活动中越来越受到重视。要满足各方面的需要，存在的问题可以从下列技术改进方面得到解决：

- 设备大小，有效利用率，成本和可靠性。
- 斜度控制。
- 偏斜率(需要更高的造斜率)。
- 钻井速度。
- 钻井问题(如卡钻、井眼的稳定性)。
- 钻头和井底钻具组合。
- 训练和管理。

先进的定向钻井系统 图11所示是一套完整的定向钻井系统，它从开钻到完井可自动监测并控制钻头的方向。

这种完整的系统将包括下面这些主要组成部件：指挥部遥测装置；井场计算机；自动控制的钻机；地面遥测装置；可卷绕的钻杆和井下遥测装置。

这种系统还包括数据处理和控制装置；井下传感器，测量工具，管子回收接头(pipe

recovery sub)，转向工具，钻井井底马达和高速钻头。

这些组成部件，目前有不少还是不适用的，需要进一步发展。

井下检测工具可以连续地监视钻头的位置和方位，处理数据资料以便修正井眼方向，并把这些数据资料传送到地面上的一台计算机里进行处理。

还可以传送有关井底其它情况的数据，这样允许将量测到的数据随时进行校正，以消除井下各种问题。

可以测定和操作的项目包括：关闭地面或井下防喷器；提高泥浆比重；把钻头提离井底；循环冲洗井眼和活动钻头。

可以使用人造卫星遥测装置以连续地把数据传输到指挥部的钻井组。这个组的专业人员可利用这些数据监控一个公司正在钻井的全部井，并在某井发生紧急情况时进行遥控操作。

专业服务公司可为一些较小的钻井公司提供这种专业技术人员的服务。

可卷绕的钻杆能用在这种完整的定向钻井系统中，并能很好地配合提供若干优点，包括：消除停钻接单根；允许连续循环；具有的挠性能大角度造斜；携带电子遥测装置；快速起下钻并减少卡钻问题。

这种系统可将定向钻井从一种技术工艺转变成一门科学。它能提供一系列的改进，例如：快速钻井；不停钻检测；连续的井内循环；较少的定向专业人员；较少的井喷；最优化钻井；开发目前认为无开采价值的储集层；并降低定向钻井费用等。

分枝钻井 从一口垂直井中分枝钻定向丛井，已经证明能有效地提高油气井、地热井及甲烷排放井等的产量。

分枝钻井时出现的一些问题，特别是在硬岩层中，有：需要小直径的井底马达；必须解决马达扭矩受限制和马达过长的问題；钻头上的偏斜力受到限制或过大的钻杆刚性限制了井斜角的迅速增大；钻头难于重新进

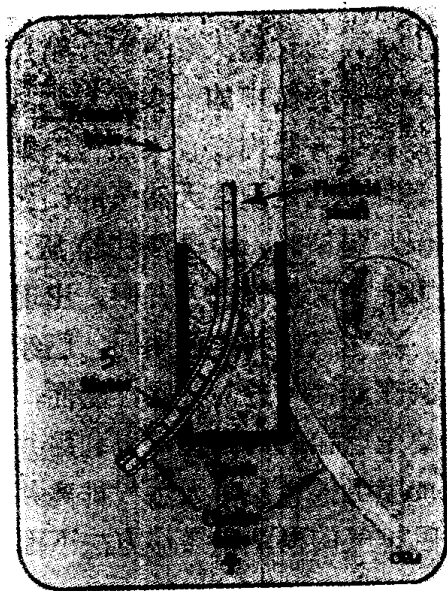


图12 转位芯子

1—主直井； 2—柔性轴； 3—齿； 4—丛井；
5—马达

入丛井和在丛井中卡钻是现在尚未解决的问题。

可以研制一种如图12所示的转位芯子，它能实现在丛式钻井中快速造斜。设计这种工具给钻杆提供适当的曲率，以保持弯曲应力不超出允许范围。

按照所钻的每口井，可将芯子转换一个预定的距离。在裸眼井段使用卡瓦式固定器固定转位组件，而在井底使用扭力齿能防止工具旋转。

当分枝井的井身较短时（最多只几百英尺），可以在主直井中用一根柔性轴并连接大直径钻井井底马达来旋转钻头。

在长的分枝丛井中（超过500英尺），可

使用一种具有柔性外壳的小直径井底马达，在这种情况下，马达可以进入分枝井内。但是，在马达通过剧烈弯曲的井段之后，还得采取提高马达刚性的方法。这些方法可能有：

机械联锁的外壳；内压增强的外壳；扭矩增强的外壳；外壳上加膨胀式扶正器；或者给靠近钻头处设置的封隔器上施加液压使钻柱处于张紧状态。

希望有一种工作可靠的丛式钻井系统尽快应用于油气井；地热钻井；甲烷排出；就地蒸馏油页岩和就地浸出矿物等部门。

（参考文献略）

（李 铃译自《Oil & Gas Journal》1979，Vol.77，№9，108—120 王维刚校）

空气、雾化和泡沫钻井

R. A. Hook 等

空气和天然气钻井工艺可以减少钻井时间和钻进成本，同时还能直接和连续地发现井下碳氢化合物、最大限度地减小对敏感的产液地层的损害、较好地控制井漏以及取到比较清洁的岩心。

本文讨论空气钻井和变型空气钻井工艺，如雾化钻井或泡沫钻井工艺的技术细节以及所需的特种设备和遇到的井下事故。特别着重介绍防止或控制井下事故的措施。

一、空气钻井的优缺点

空气是一种比重非常小的钻井循环介质。为了使空气钻井达到最佳成效和最大的经济效益，必须考虑几个因素。干地层或地层产液相当少的硬地层，用空气钻井的效果最好。在地层是绝对干燥时，或者进入井眼的液体刚好可以被空气流带走时，返回地面的钻屑呈粉末状。同时，还可立即和连续地

发现井下碳氢化合物。此外，使用空气钻井的其它优点还有成本低、钻速快、钻头寿命长、能够较好地控制多孔的井漏地区以及最大限度地减少对敏感的产液地层的损害。

事实上，当钻遇天然气时，钻柱始终在井底，是油井控制中的一大优点。空气钻井起钻时，如果井眼内没有天然气，则新钻头下到井底时，也是没有天然气的，而充满泥浆的井眼，起钻时，由于液柱静压力的降低，有可能使天然气进入井眼，出现油井控制问题。在空气钻井作业期间，已经钻穿的天然气会在起钻时进入井眼，然而，天然气数量始终是已知的，因此可以利用井口排屑管线上的喷咀很容易将天然气排离井口。这种用喷咀排气的程序和方法下面还要讨论。

空气钻井的最大困难是钻遇大含水量的地层，到底空气钻井能够适应多大地层水的流入量，则还没有确定。在钻遇地层水时，

可以使用雾化钻井(泡沫钻井)、充气泥浆钻井或空气-泥浆分段钻井。雾化钻井能适应地层出水量约为每小时 200 桶。当地面压力超过空气压缩机的极限压力时,可以使用充气泥浆钻井或空气-泥浆分段钻井来处理较大出水量的地层。

空气钻井的其它缺点有: 1. 井下着火和爆炸; 2. 地层坍塌(在干地层或湿地层时); 3. 钻软地层的效果不好。

以上这些缺点降低了空气钻井的效率,但是,今天可以采用有效的设备来克服上述缺点。

用空气作循环介质时,首先得到好处是提高机械钻速,这是因为空气或天然气的比重低,液柱静压力很小有助于岩层的碎裂。液柱静压力对钻速的影响如图1⁽¹⁾所示,图中的压差是钻井泥浆柱静压力与地层孔隙压力之差。

岩层承受的压缩负荷超过其极限强度时,岩层就移动或破碎。钻头旋转时,岩层就在钻头的动负荷下碎裂。被压碎的岩层或钻屑横向炸离井底,被空气流冲走,上返到地面。钻屑炸离井底是由于井内很大的负压差的结果。移离井底的钻屑,颗粒尺寸粗细不等,在这些钻屑开始顺着环形空间上返时,大颗粒的钻屑被钻柱磨成细粉,同时,

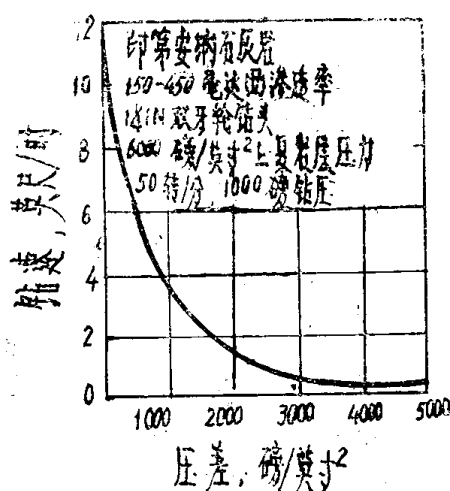


图1 压差(井眼内液柱压力大于地层孔隙压力)增大,钻速降低。空气钻井压差很小,因此,钻速较高。

高速气流迫使钻屑彼此之间以及与钻杆接头和井壁碰撞,因此,钻屑返出地面时已变成细粉状颗粒。

可以使用常规的最佳钻压试求法求出最佳钻速。因为空气钻井的机械钻速较快,因此建议最佳钻压试求法至少应试验60英尺以上,即加相同的钻压和转速钻进60英尺以上,求得平均机械钻速,随后,变更钻压或转速,再钻进60英尺以上,求得另一个钻速。在进行试验时可以忽略薄夹层的影响,最后求得最佳钻速。

钻头的性能对于任何钻井作业都是一个重要的因素。就空气钻井来说,选择的钻头要能保证足够的外径尺寸。在某些情况下,就需要计算和对比牙轮的最外一圈牙齿,牙轮最外圈牙齿的齿数越多,钻头保持直径性能的时间越长。

当钻头钻遇硬的磨蚀性石英砂岩时,钻头直径磨小是很普遍的现象。在直径变小的钻头钻进的井眼内,跟着用另一个钻头划眼,当这个钻头划眼到井底以后,牙轮受到挤压,导致钻头轴承提前损坏,因而,缩短了钻头的寿命,使每口井需用的钻头数量增加。

在大多数空气钻井作业中,都选用硬地层银齿钻头。目前,市场上供应空气钻井用的钻头中,有一些是供采矿作业用的。这些矿用钻头外径的公差范围是从-0到+ $\frac{1}{8}$ 英寸,即 $7\frac{7}{8}$ 英寸钻头的最小直径是 $7\frac{7}{8}$ 英寸,最大为 $8\frac{1}{8}$ 英寸。此外,也制造了一些油田用的空气钻井钻头,其外径公差与泥浆钻井钻头的外径公差一样。

经验表明,使用空气钻井钻头时封堵钻头的一个喷嘴就可以延长钻头的使用寿命和提高机械钻速。当采用上述措施时,应该把两个最能保持钻头直径尺寸的牙轮之间的喷嘴堵死(见图2)。因为被封死喷嘴两侧的牙轮,钻井时要承受较大的切削负荷,所以这两个牙轮最外一圈应有很多的齿和起到很好的保持钻头直径尺寸的作用。在正常的情况

下，其余两个喷咀的内径应当为 20/32 英寸或 24/32 英寸。

封堵空气钻井钻头中的一个喷咀，限制通过喷咀的空气流，增加钻头的背压，迫使更多的空气通过空气管和越过轴承，使钻头轴承得到较好的冷却和较好的清洁，延长了钻头的寿命。由于封堵喷咀所引起的压力增加约为 10~15 磅/英寸²(表压)。

封堵钻头喷咀的第二个好处是井眼比较清洁，大多数情况下机械钻速高。把钻头中的一个喷咀封死，迫使空气流过钻头面，使钻屑从钻头中心移走，避免积聚在钻头下方的钻屑重新被研磨。在某种情况下，钻头喷咀

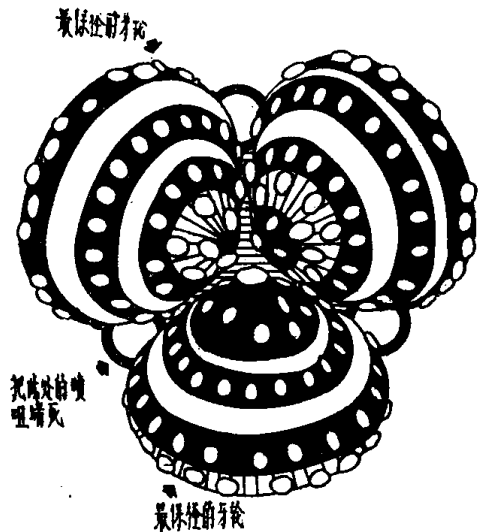


图 2 封堵三牙轮钻头中的一个喷咀，限制通过喷咀的气流，迫使更多的空气流过空气管，越过轴承，延长了钻头的寿命。

对称布置时，钻屑可能积聚在钻头的中心。由于采取封堵喷咀这种措施，其效果随地层而异，因此必须权衡得失，谨慎行事（因为封堵喷咀后，钻头轴承的冷却作用变坏）。

二、空气钻井的设备

把一台常规的旋转钻机改装成空气钻井钻机，是比较简单的。大多数泥浆钻井用的液相和固相处理设备可以不要。对于空气钻井作业来说，液相处理设备只要一台泥浆泵、一台离心泵和一个容积约 1500 桶的储水池（可以用钢泥浆池）就够了。

阀门管汇 在钻台的主管上焊一套阀门管汇（见图 3）。阀门管汇中的阀、管线和管件的尺寸必须尽量减少摩擦损失和承受最大的工作压力。

旋转钻井头 这是一种主要的部件（见图 4）。钻柱中，除了大直径的组件如钻铤、扩眼器和钻头以外，旋转头的橡胶密封装置能够封住其它任何形状的旋转组件（方钻杆或钻杆）并随着钻柱旋转，而钻屑从法兰出口通过井口排屑管线排离井口。

为了节省接单根的时间和避免橡胶密封装置与轴承结构不必要的磨损，旋转头必须找正。找正的方法是：将一根钻铤用卡瓦卡

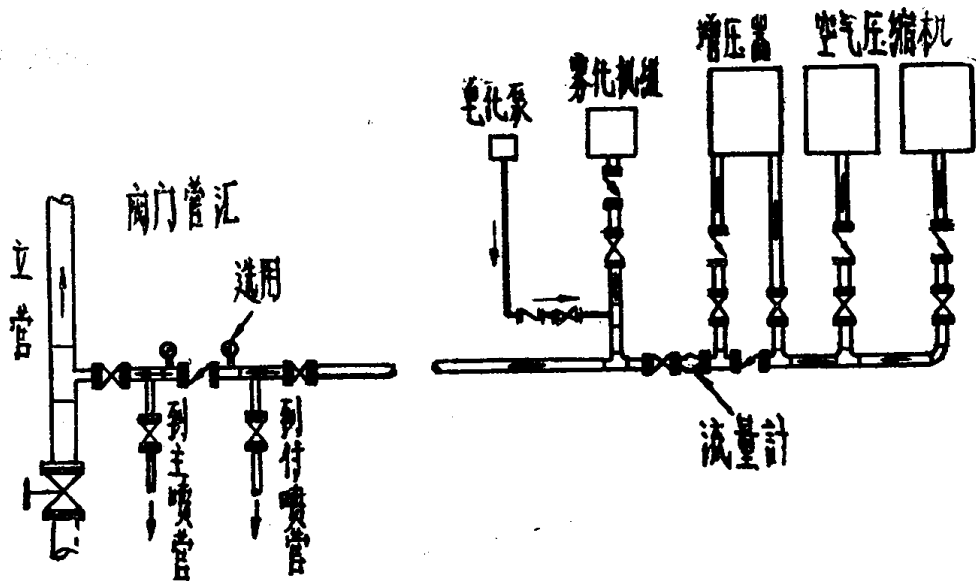


图 3 立管焊一套阀门管汇，起钻时，空气压缩机向排屑管线气体喷管输送压缩空气

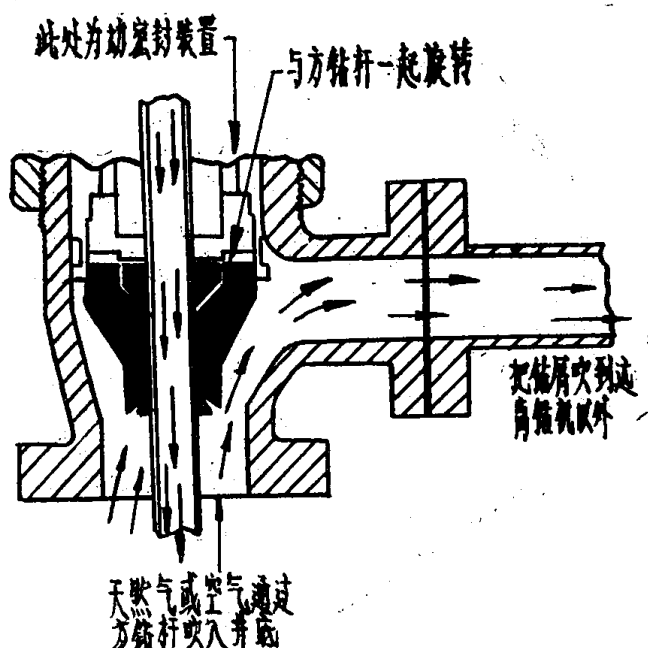


图4 用旋转钻井头密封井口，并把空气和粉状钻屑排离井口。

在转盘内，用钢尺测量旋转头内径与钻铤外径的距离，钻铤的中心就是旋转头的中心，然后用链条和绷绳校正。在旋转头找正之后，用拉筋连接旋转头并焊接在底座上固定，以防止在钻井作业期间发生移动和错位。

钻井期间，每接一根单根之后，在橡胶密封装置顶部浇水或肥皂水，很好润滑方钻杆，可以延长旋转头橡胶密封元件的使用寿命。也可以用油润滑，但方钻杆上的油容易粘住钻屑，堵塞旋转头内部的空气流道。

其它防喷设备与泥浆钻井所用的一样，没有区别。一般配备一套相应通径和压力等级的双闸板式防喷器。

空气压缩机组 配备一套足够排量的移动式空气压缩机组。油田上最常用的是两级或三级往复式双作用空气压缩机。这种空气压缩机的压力和排量范围很广，而且可连续工作，完全能满足高效率空气钻井的要求。

可以采用由两台或多台空气压缩机组成的成套机组，机组中压缩机的数量取决于高效率空气钻井所需的排量。通常，一台空气压缩机在300~320磅/英寸² (表压) 最大压力下的排量为400~1200英尺³/分。

容积式空气压缩机的功率视活塞尺寸而定，排量取决于海拔高度。压缩机制造厂商随机提供各种工作压力下的排量数据，然而，有一种可靠的方法能精确地测定钻井压力下的空气排量。这种方法比较简单，即保持压缩机背压为100~200磅/英寸² (表压) 的条件下，用流量计或孔板流量计测定空气的排量。

空气钻井用的另一种压缩机是螺杆式两级高压压缩机，它是一种容积式油冷润滑压缩机，在排出压力改变时，排量不变。螺杆压缩机在300磅/英寸² (表压) 压力下额定排量为750~800英尺³/分。

增压器 如果钻井时的工作压力超过空气压缩机的最大压力，需配备增压器。增压器的排量应与全部在用压缩机的排量相适应。油田用增压器能把300磅/英寸² (表压) 左右的压力增加到1500磅/英寸² (表压) 左右，而且是防止井下发生事故必备的安全装置。需要配备增压器的条件以后再讨论。

空气系统成套机组还包括由功率为40~50马力、排量为25~35加仑/分三缸柱塞泵组成的雾化或泡沫机组，柱塞泵从一个12桶容积的罐吸水，用来准确测定注水量。同时，还应包括一台排量约10~15加仑/小时的气动药剂泵，以便泡沫钻井时添加起泡剂 (肥皂水)。气动药剂泵也可准确地测定起泡剂的注入量。图3是空气钻井用空气压缩机、增压器和雾化机组的排列布置图。

井口排屑管的内径为7~10英寸，管线长度一般为150~200英尺，应该用法兰焊接并很好固定 (见图5)。排屑管线切不可有45°或90°弯头，因为钻屑会刺穿弯头或刺薄弯头。此外，当用空气排空井眼内的液体或者地层中突然出现地层水随空气带到地面时，弯头周围产生压力降，这种压力的波动就可能炸裂管线。

除了管线要笔直，要加法兰和焊接之外，排屑管线由6个主要部件组成：(1) 空气或天然气喷管；(2) 除灰器；(3) 砂样取样器；

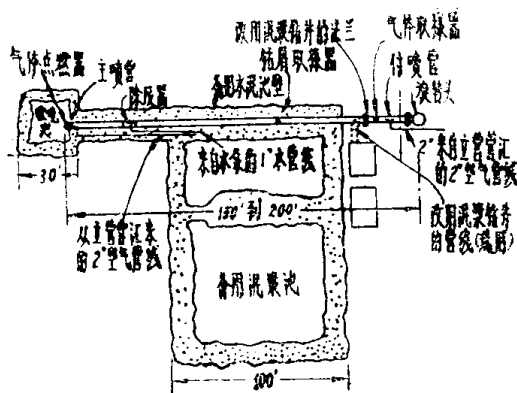


图5 排屑管线长150~200英尺，端部配设燃烧池，还应配备钢泥浆罐和备用泥浆池，以便改用泥浆钻井。

(4) 气体取样器；(5) 改用泥浆钻井的装置；(6) 气体点火器。

天然气或空气喷管 起钻时，用天然气或空气喷管将天然气排离井口。如图6的下部所示，这两种不同设计的喷管，起着两种不同的作用。主喷管设在排屑管的末端，主要在起下钻时使用，副喷管设在井口附近，在主喷管被粉末状钻屑刺坏失去作用时使用，副喷管的另一个作用是在接单根前排放空气压力用。

主喷管的位置应该在离排屑管末端4倍管径的距离处，效果最好。例如，一根7英寸的排屑管，主喷管的位置应在离末端28英寸处。现场实际测量表明，主喷管可使排屑管产生6磅/英寸²的真空度，副喷管只能产生2磅/英寸²的真空度。

虽然主喷管的排量并不十分明确，但是，在起下钻期间，相信可以安全地使3~5百万英尺³/日的天然气排离井口。这是假设旋转头密封元件卸下时的流量，旋转头密封元件未取下时，排离井口的气体流量更大。

除灰器 在钻井期间，用除灰器除去粉末状钻屑。在远离城镇和村庄的地区，当风向向着钻机或其它设备时，使用除灰器。在人口稠密或不能有灰尘的地区，除灰器必须连续工作。除灰用的水可由水泵自燃烧池或备用泥浆池供应，并可循环再用。

除灰器是安装在排屑管上的，结构很简

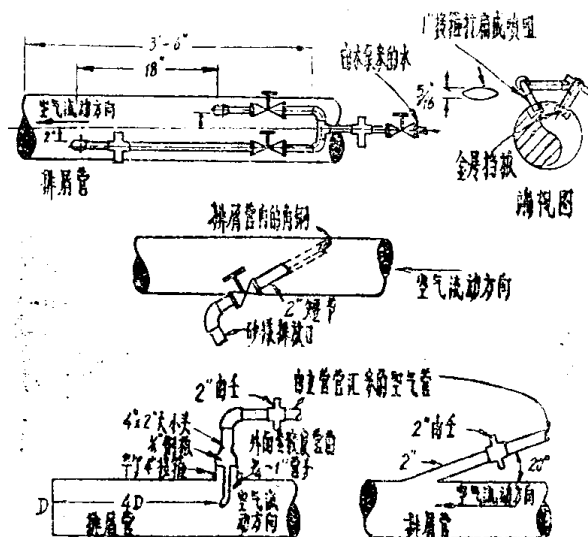


图6 排屑管上的几个重要组件：图下部左右分别是主喷管和付喷管；图中部为砂样取样器，图上部为除灰器。

单。图6顶部所示的结构，可满足机械钻速大于100英尺/小时时排灰的需要。

砂样取样器 图6中部所示的砂样取样器是装在排屑管上的，以便收集钻屑试样。它对于钻井工作人员的另一个重要作用是：在除灰器除灰时，可观察到粉状钻屑，如果看不到粉状钻屑，说明井眼出现液体，正在发生事故或者已经出了事故。这种事故导致井下着火或卡钻。

气体取样器 它和泥浆钻井中所用的相似，可以装在排屑管内，能够检测出极微含量的天然气(见图5)。为了管理简便起见，可以使用图5所示的那种装置，如果以后要改用泥浆钻井，仍旧能使用。

气体点火器 应该在排屑管的末端安装气体点火器或者保持一个小火焰，以便点燃从井内上返的任何可燃气体。

压力记录仪 要配备两个压力记录仪监视空气压力，一个装在钻台上，另一个装在紧靠空气压缩机的出口管处。

钻台上应配备0~500磅/英寸²(表压)压力12或24小时自动记录卡的记录仪。空气压缩机出口管处的压力记录仪为孔板流量计的一部分，能同时测量常压和压差。根据这两项数据，很容易计算出空气的瞬时流量，这个流量当空气压力变高或降低时非常重要。