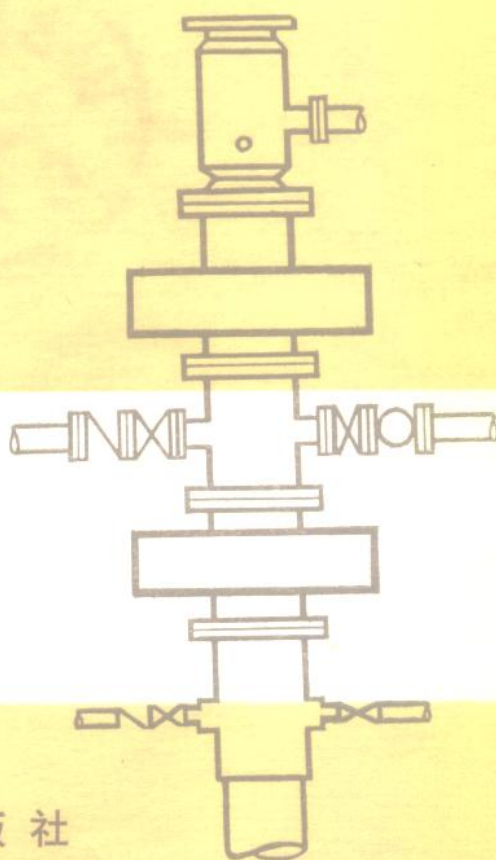


油井防喷手册

(荷)壳牌国际石油公司 编



石油工业出版社

TE28

内 容 提 要

内容主要有两大部分。一部分是井控及防喷工艺，另一部分是井控设备。在工艺部分详细介绍了如何根据各种钻井参数及现象的变化来判断井涌以及相应的预防措施，介绍了三种常用的压井工艺。设备部分介绍了各种防喷器、节流管汇及钻杆内防喷器的性能、组合原则及试验方法，还介绍了防喷演习的方法与步骤。

本书列有详细的操作步骤，并附有实现井控所需的数据及图表。

WELL CONTROL
AND BLOWOUT PREVENTION MANUAL
SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM MAATSCHAPPIJ N.V
The Hague, the Netherlands, 1978

油 井 防 喷 手 册

〔荷〕壳牌国际石油公司 编

唐北星 周惟英 译

石油工业出版社出版
(北京安定门外外馆东后街甲36号)
通县印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 4³/₄印张 112千字 印1—5,000

1983年1月北京第1版 1983年1月北京第1次印刷

书号：15037·2401 定价：0.54元

目 录

<p>第一章 井控技术..... (1)</p> <p> 第一节 定义..... (1)</p> <p> 第二节 钻井设计..... (1)</p> <p> (一) 钻井计划..... (1)</p> <p> (二) 套管及固井程序..... (1)</p> <p> (三) 泥浆设计..... (2)</p> <p> (四) 防喷装备的选择..... (3)</p> <p> (五) 异常地层孔隙压力..... (3)</p> <p> (六) 浅层气口袋..... (3)</p> <p> (七) 钻杆柱..... (4)</p> <p> (八) 情况交流..... (4)</p> <p> (九) 计划中的特殊考虑..... (4)</p> <p> 第三节 钻井人员的培训..... (5)</p> <p> 第四节 初次控制..... (5)</p> <p> (一) 泥浆测量设备..... (5)</p> <p> (二) 初次控制技术..... (6)</p> <p> (三) 抽汲..... (7)</p> <p> (四) 泥浆比重过低..... (7)</p> <p> (五) 井漏..... (8)</p> <p> (六) 泥浆返出管线的显示..... (9)</p> <p> (七) 警告信号..... (9)</p> <p> (八) 用浮式海洋钻井设备钻井时丧失初次控制..... (10)</p> <p> 第五节 二次控制..... (10)</p> <p> (一) 识别井涌..... (10)</p> <p> (二) 压制井涌的方法..... (10)</p> <p> (三) 必要数据的预先记录..... (11)</p> <p> (四) 在钻进时或在井底进行循环时井涌的控制..... (13)</p> <p> (五) 起下钻时井涌的控制..... (17)</p> <p> (六) 井控中的复杂情况..... (18)</p> <p> (七) 侵入井内的地层流体的压力梯度的确定..... (19)</p> <p> (八) 井底压力、地层破裂压力和泥浆比重之间的关系..... (19)</p> <p> (九) 使用井涌控制工作卡..... (20)</p> <p> 第六节 应急措施(三次控制)..... (28)</p> <p> (一) 打重晶石塞..... (28)</p>	<p> (二) 打水泥塞..... (29)</p> <p>第二章 油气井控制设备..... (30)</p> <p> 第一节 分类..... (30)</p> <p> 第二节 防喷器组至少应配备的设备..... (30)</p> <p> (一) 地面防喷设备(用于陆地井口和海洋井的水上井口)..... (30)</p> <p> (二) 水下防喷设备..... (32)</p> <p> 第三节 井口和防喷设备的安装要求..... (33)</p> <p> 第四节 其他井控设备..... (34)</p> <p> (一) 节流管汇..... (34)</p> <p> (二) 钻柱内的截流工具..... (34)</p> <p> (三) 泥浆-气体分离器和起下钻泥浆罐..... (34)</p> <p> (四) 泥浆池液面指示器和记录仪..... (35)</p> <p> (五) 高压泥浆系统和高压水泥系统..... (35)</p> <p> 第五节 套管、井口装置和防喷设备的试验..... (35)</p> <p> (一) 套管..... (35)</p> <p> (二) 地面井口装置和防喷设备(用于陆地井口和海洋井的水上井口)..... (35)</p> <p> (三) 水下井口装置和水下防喷设备..... (36)</p> <p> (四) 储能器..... (37)</p> <p> (五) 试验周期..... (37)</p> <p> (六) 功能试验、检查和预防措施..... (37)</p> <p>第三章 井控演习..... (38)</p> <p>附录</p> <p> 附录 1 套管柱命名..... (39)</p> <p> 附录 2 压力术语定义..... (39)</p> <p> 附录 3 钻杆体积表..... (40)</p> <p> 附录 4 气侵对井底压力的影响..... (40)</p> <p> 附录 5 确定钻杆接头位置的实例(“白色单根”系统)..... (41)</p> <p> 附录 6 钻井过程中的井控程序..... (41)</p> <p> 附录 7 井底压力、地层破裂压力(在套管鞋处)和泥浆比重之间的关系..... (43)</p> <p> 附录 8 井涌控制工作卡(平衡泥浆比重法)..... (45)</p>
--	--

附录9	井涌控制工作卡(司钻法).....	(46)	附录20	工作压力等级为207巴(3000磅/英寸 ²)和345巴(5000磅/英寸 ²)的防喷器组至少需要配备的设备.....	(60)
附录10	井涌控制工作卡(体积法).....	(47)	附录21	工作压力等级为690巴(10000磅/英寸 ²)和1035巴(15000磅/英寸 ²)的防喷器组至少需要配备的设备.....	(60)
附录11	压制井涌所需的泥浆压力梯度增量.....	(49)	附录22	节流管汇至少应配备的零部件清单.....	(61)
附录12	加重1米 ³ 泥浆所需的重晶石量.....	(50)	附录23	组合式泥浆-气体分离器、起下钻泥浆罐和泥浆接收罐.....	(62)
附录13	加重10米 ³ 泥浆所需重晶石袋数.....	(51)	附录24	立式撬装型泥浆-气体分离器 ...	(67)
附录14	泥浆由地面循环到钻头所需时间.....	(53)	附录25	立式开口型泥浆-气体分离器 ...	(68)
附录15	漏失试验.....	(54)	附录26	“卡梅隆”“F”型皮碗试验器规范.....	(68)
附录16	压力梯度及比重单位换算系数表.....	(56)	附录27	防喷器、储能器和节流管汇试验记录表.....	(69)
附录17	泥浆比重及压力梯度对照表.....	(57)			
附录18	井筒容积.....	(58)			
附录19	工作压力等级为138巴(2000磅/英寸 ²)的防喷器组至少需要配备的设备.....	(59)			

第一章 井控技术

第一节 定义

正常的井控可分成两类：(1)初次控制，(2)二次控制。

“初次控制”的意义是：利用钻井液维持足够的静液柱压力来平衡地层孔隙压力，以阻止地层流体进入井眼。

“二次控制”的意义是：当初次控制无法维持时，恰当地使用防喷设备来实现井控。

如果由于设备的故障或因井下情况特别恶劣而使二次控制不能奏效，还可采取某些应急措施以阻止井完全失去控制。这些应急措施(有时称作“三次控制”)通常会导致井部分或全部报废。

第二节 钻井设计

在进行井的初步设计时，对每个计划步骤的所有与安全有关的问题都必须给予适当的考虑(包括对可能出现的异常情况的有效处理)，以保证钻井过程的安全。

装备的配备要充足，采用的方法要可靠，才能完成预定的任务。特别要注意配备能在整个钻井过程中迅速显示泥浆总体积的微小变化的仪器。

工程师、管理人员和井队成员应受过必要的训练并随时保持警觉。

井的设计的所有内容都应符合政府的有关规定。

(一) 钻井计划

钻井计划是一个由管理部门制订的书面文件。

该计划包含以下一些内容(这些内容应力求准确)：钻井目的、地层特性(如渗透率、流体类型、气层等)、异常孔隙压力及计划下套管处地层的预计强度梯度。此外还应包括井眼尺寸、套管程序、固井程序、泥浆设计及操作大纲。

为了在必要时验证地层的强度梯度，计划还应规定对地层完整性试验(又叫漏失试验)的要求。进行地层漏失试验的程序见附录15。

(二) 套管及固井程序

1. 套管程序

分别见于附录1“套管柱命名”及附录2“压力术语定义”。

套管柱的下入深度对于钻井作业的安全性具有重要的意义。适当的套管下入深度可以保证实现适当的井控操作。

套管设计的要点如下：

1) 导管

导管的设计应使其能承受相当于压力梯度为2.26巴/10米(1(磅/英寸²)/英尺)的内压力。

通常导管要承受井口和防喷器组的部分或全部垂直载荷。

2) 表层套管

(1) 表层套管的设计应使其能承受当井筒的40%被抽空时, 预计的井底压力所造成的内压。

(2) 表层套管的套管鞋最好下在一个非渗透性的坚密地层, 以避免套管鞋破裂。

(3) 深井及定向井的表层套管起保护已钻井段的作用, 这时表层套管受到钻杆柱旋转及起下时的摩擦, 应采取相应的保护措施, 即在其顶部及弯曲区段采用壁厚较厚或钢级较高的套管。

3) 技术套管

(1) 技术套管的设计应使其能承受当井筒的40%被抽空时, 预计的井底压力所造成的内压。

(2) 当钻杆柱通过技术套管进行钻井的时间较长时, 应考虑对因钻杆柱旋转及起下而造成的磨损采取相应的保护措施。

(3) 无论何时, 当出现严重的井漏, 遇到疏松易塌地层及异常孔隙压力梯度等井下情况而不能继续钻进时, 必须下技术套管。

4) 生产套管

(1) 当以生产套管带采油封隔器完井时, 套管的设计应使其能承受预计的井口压力及封隔液的静液柱压力所合成的内压。

(2) 当计划要向生产套管以下钻进时, 最好下一个尾管而不要下整个套管柱。

流入井筒内的一定体积的地层流体在被循环出井筒时, 在直径较大的技术套管里所占的高度要小于在由井底一直通到地面的生产套管内所占的高度, 因此在压井过程中静液柱压力的损失较小, 于是环形空间的压力较低。

只有在对以前所下的套管试压已经成功之后, 才允许下尾管。

尾管挂应具有回接机构, 这样在以后如有需要就可以将整个套管柱接到尾管的顶部。

不推荐采用尾管封隔器, 因为这会引起过高的循环压力并妨碍进行挤水泥作业。

2. 固井程序

(1) 固井程序的设计应保证在下套管后第一次注水泥就能获得成功, 从而将不同的地层隔离开, 并防止套管鞋以下的裸眼井段地层与已下套管井段地层相通。

(2) 表层套管的水泥最好上返到先前已下的套管柱里。

(三) 泥浆设计

为了实现井的初次控制, 必须使泥浆的比重超过预计的地层孔隙压力, 以补偿抽汲效应〔参见本章第四节(三)一抽汲〕。

通常的“过平衡量”(即泥浆柱的静液柱压力超过地层孔隙压力的部分)的最大值为20巴(300磅/英寸²)。

在钻开发井时, 由于地层孔隙压力是已知的, 所以有可能并应当在整个钻井过程中将过平衡量维持在一个最小的然而安全的水平上。也就是说, 在钻穿高压层之前, 就应当加重泥浆, 免得采取二次控制措施。

在钻那些地层孔隙压力为未知的井时，应使用尽可能低的泥浆比重，并配备充足的，能早期预测并有效控制异常地层压力的装备。这是因为使用低比重泥浆能提高机械钻速，因而可减少在裸眼井段钻进的时间，从而也可减少发生井下事故的可能性。

当被钻穿的地层孔隙压力高于泥浆柱压力时就需要采取二次控制措施，以重新建立泥浆柱压力对地层孔隙压力的“过平衡”（即泥浆柱压力大于地层孔隙压力这样一种状态）。

当预计会遇到漏失地层和进行修井作业时，应采用较小的过平衡量。

(四) 防喷装备的选择

对于防喷装备的最低限度要求在第二章第二节中介绍。

在下套管时，诸如钻井四通、旁通管和阀等井口设备的额定压力可能会变化。

水下防喷器组和水下井口因为要同水下测试采油树一道用于试油作业，所以它们的额定压力应能满足试油过程中预期的最高井口压力。

(五) 异常地层孔隙压力

在钻勘探井时，异常地层压力的预测是困难的，甚至是不可能的。

对早先所钻的邻近井所得到的数据进行对比，可以获得最为可靠的资料，而对于那些典型的野猫井来说，通常只有依靠地震资料来预测异常地层孔隙压力。

(1) 在钻到碎屑性地层时发现的某些现象有助于判断异常地层孔隙压力。对这些现象进行的分析可能会提供对继续钻进及随后的开发钻井有用的资料，从而有助于实现有效的井控。

这些现象包括（在括弧中注明了其作用的大小及可靠性程度）：

①井涌。

②机械钻速的突然升高（好）。

③计算得到的修正“D”指数值的降低（好）。

④泥浆气侵（中）。

⑤井下情况的变化，如起钻时提钻力过大，钻进时转盘扭矩增大等。上述现象可能因页岩坍塌而引起（中）。

⑥泥浆性能（如含盐度）的变化（可）。

⑦页岩密度的数值随深度减小（作用：可；可靠性：井位的测定不准确）。

⑧泥浆管线的温度升高（作用：很差；可靠性：在海上不实用）。

应当注意，上述③至⑧的现象在高压地层被钻穿之前或一旦被钻穿时立即可以观察到，所以井队人员必须接受良好的训练和指导，以便能识别这些现象。

(2) 当钻到蒸发岩或其他非渗透性地层时，在绝大多数情况下，在即将钻达异常压力地层时不会有真正的预兆。不过有时在钻穿高压的含油气层之前，在返出的泥浆中会含有硫或在岩屑中会含有硫化氢。

(六) 浅层气口袋

某些地区因在浅部地层存在低压气层（称作气口袋）而著称。气口袋的存在很难预测。浅层地震资料的先进解释方法有可能预测到气口袋，因而正在得到日益广泛的应用。

如果在钻井时只是观察到返出泥浆中的含气量较高而没有别的显示时（因为浅层气口袋

的压力并不高), 应特别注意避免造成抽汲。

如果预计会遇到气口袋, 推荐使用分流设备〔参见第二章第二节(一)4〕。

(七) 钻杆柱

推荐使用具有光滑无突起的, 由细颗粒构成的表面硬化层的钻杆接头。试验表明, 这种钻杆接头对套管的磨损比普通合金钢的钻杆接头对套管的磨损要小。不允许采用粗糙的, 隆起的表面硬化层。

为了减少套管的磨损, 推荐使用橡胶的钻杆护箍以避免钻杆与套管直接接触。通常情况下在每个钻杆接头附近装一个橡胶护箍就可以了, 但在严重弯曲的井段和斜度很大的井段, 则有必要在钻杆接头的中部再装一个护箍。

钻杆柱的起下会引起巨大的压力波动。这种压力波动可能会造成地层破裂而使泥浆漏入地层或造成地层流体进入井筒, 因此钻杆柱外廓与裸眼井之间的间隙及钻杆柱起下的速度对这种压力波动大小的影响应当加以考虑。

(八) 情况交流

在一口井开钻之前, 壳牌石油公司、钻井承包商及适当的第三方的服务人员应举行一个计划会议来讨论钻井计划。需要讨论和解释的内容应包括以下各点:

(1) 以前在该地区所遇到过的有关漏失地层、异常压力地层的深度及压力值以及可能存在的浅气层等情况。

(2) 钻井计划所有方面的情况。

(3) 在遇到井漏或井涌时应采取的措施。

在整个钻井过程中, 泥浆工和司钻之间必须保持密切的联系。

如果井队配备有泥浆录井设备, 操作者应随时将地层的变化情况、泥浆性能及其被污染情况以及其他可能发生井涌的显示通知司钻。

应当作好安排以保证井场与基地的管理人员之间的无线电联系每天24小时保持畅通。

(九) 计划中的特殊考虑

(1) 在下列情况时, 钻井计划中的井控措施应增加附加的安全措施:

① 在陆上或海上钻丛式定向井时。每钻一口新井时都要测井斜及方位以控制并保证其实际井身在计划给出的范围之内(避免与已钻成的井相交), 并保证该井的实际井底位置。

② 将钻机搬进或搬出陆地井场或海上平台, 安装并操作该钻机时。这些操作应遵守报告EP-43435(最新版本)《安全操作规程》规定的操作程序。

(2) 如果预计会遇到井漏, 则可采取下列措施以减轻漏失或避免漏失:

① 采用适当的套管程序。

② 作出可靠的泥浆设计(包括对泥浆性能测试及调整的全面的指示)。

③ 限制管柱下放的速度。

④ 采用在起下钻中和起下钻结束后恢复循环的技术。

(3) 水泥承留器、桥塞及封隔器等应尽量下深一些。封隔器或堵塞器在井下的位置越浅, 控制封隔器或堵塞器底下可能聚积起来的压力所需要的液柱压力梯度就越大, 当钻掉或取出这类工具时, 如果不采用不压井作业设备, 甚至会控制不住上述的压力。

(4) 只有在已经确定要下套管的井段里没有油气层时, 才能使用压差式套管灌注设备。

(5) 泥浆加重材料、化学添加剂、堵漏材料及水泥在井场的最小储备量取决于井的预测条件、钻井过程中可能出现的问题的严重程度、钻机的承载能力(对于海上钻井设备而言)、井的边远程度及运输条件以及获得上述材料的难易程度。为保证实现压井程序, 应作好充分的准备工作, 其内容包括:

- ① 储备足够的液体泥浆。
- ② 储备足够的干泥浆材料、重晶石、化学添加剂和水。
- ③ 每日检查备用泥浆的性能并保持其稳定。
- ④ 逐日编制手头已有材料的清单并随时作必要的补充。
- ⑤ 在井场储备充足的水泥(特别是对边远的陆上井及所有的海上井)。

第三节 钻井人员的培训

只有能胜任工作并具有警觉性的井队人员才能做好井控工作。井队人员必须具备必要的知识和经验, 从而能使机械设备保持在最佳工作状态, 并能及早发现异常情况, 这就要求石油公司和钻井承包商的有关人员接受全面的、深入的培训。石油公司和钻井承包商的钻井技师和司钻应在可能的范围内学习一些进修课程, 包括用模拟设备进行的有关井控原理及技术的培训。

钻井承包商提供的管理人员及井队工人应具有保持对井的初次控制的能力并透彻地掌握实现二次控制所需设备的安装、维护及操作的方法。

在“井控演习”(第三章)中要进一步讨论对井队人员的评价问题。

注: 对井队人员进行的井控培训(包括实现初次控制及二次控制的培训)不应局限于现场的培训。有关这方面的内容可参考最新版的A. P. I. RPT-3(题目是: “在海上进行钻井时对有关人员进行井控装备及井控技术培训的内容及目标”)。该文件提供了对钻井人员进行井控装备及井控技术培训的准则。

第四节 初次控制

所谓初次控制就是: 利用钻井液维持足够的静液柱压力来平衡地层孔隙压力以阻止外部流体进入井筒。

在钻井及修井过程中, 要尽量争取实现初次控制。在海上钻井时和在有硫化氢的环境中做到这一点更为重要, 因为前者由于后勤供应方面的困难, 实施二次控制很为复杂, 而在后一种情况下设备较易损坏。

为了在整个作业过程中保证实现初次控制, 下列各点是极其重要的:

- (1) 使用比重和性能适当的泥浆。
- (2) 连续记录在用泥浆的体积。
- (3) 及时观察泥浆性能及返出泥浆流量的变化, 以便能及时采取纠正措施。

(一) 泥浆测量设备

为了及时测出泥浆总体积及流量的变化, 应配备精确可靠的泥浆测量设备。以下几种配

合在一起使用能获得好的测量效果:

- (1) 起下钻泥浆罐。
- (2) 带报警装置的泥浆池液面指示及记录仪。
- (3) 带报警装置的泥浆返出管线流量计。
- (4) 泥浆泵冲次累积仪。

(5) 一个带隔离池的泥浆吸入罐。被隔离的那部分的尺寸应按以下原则设计: 泥浆体积的微小增减可产生相当大的液面起伏, 例如泥浆体积变化 1 米^3 , 其液面相应变化 10 厘米 (4 英寸)。

(二) 初次控制技术

为了维持初次控制, 应按下列要求进行操作:

1. 起下钻时

- (1) 随时保持井内充满泥浆。

(2) 使用起下钻泥浆罐, 以精确测出泥浆体积的变化。应尽量避免“湿操作”(即泥浆四处喷溅——译注)。在起钻时要密切注意灌入井内的泥浆量是否刚好等于起出的钻杆体积; 在下钻时则要注意井内溢出的泥浆量是否刚好等于下入的钻杆体积(参见附录 3)。应使用钻杆刮泥器及泥浆防溅罩以减少泥浆的损失。

(3) 在钻铤起到最里层套管的套管鞋处准备起钻前, 可考虑检查一下井口, 看是否有泥浆流出。

- (4) 起下管柱时速度不要太快, 以避免因压力波动而造成井漏或地层流体流入井内。

(5) 在某些条件恶劣的裸眼井段, 在每起一个立根前先循环泥浆以防止产生抽汲。

(6) 如果发现明显的抽汲现象, 将钻杆柱下放到井底并处理泥浆。

(7) 尽量缩短空井(即井内没有钻杆柱)的时间。

(8) 当钻机需要修理时, 先将钻杆柱至少下放到最里层的套管鞋处。在修井作业中, 将管柱下放到能保证将井控制住足够深度。

2. 起下钻后

不论起下钻时间的长短, 在起下钻后只要有需要就应进行循环, 直至井底的泥浆返出地面为止。

(1) 如果配备有泥浆录井设备, 应检查设备的工作是否正常以及其操作者与司钻的联系是否畅通。

(2) 在井底泥浆返出地面之前, 不要让泥浆从备用泥浆罐流入在用泥浆系统中, 反之也不行。

(3) 注意识别正在裸眼井段里向地面流动的因抽汲而进入井内的天然气。因抽汲而进入井内的天然气刚开始时膨胀缓慢, 但当接近地面时会急剧膨胀, 这可能会使得井内的静液柱压力下降到低于地层孔隙压力。

(4) 保持精确的记录(特别是对于异常现象)。记录并描述所有的油气显示、显示的持续时间、返出泥浆的比重、在有油气显示期间的氯化物含量等。

3. 正常钻进及循环时

(1) 如果配备有泥浆录井设备, 应保证设备的正常工作, 其操作人员与司钻应随时保持联系。

(2) 保证泥浆池液面记录仪及泥浆流量计的高低极限位置报警器处于正常工作状态。高低两个极限位置要尽可能地接近。

(3) 任何改变在用泥浆体积的建议都必须向司钻提出，一待执行完毕，应立即通知司钻。

(4) 当遇到机械钻速突然加快的情况时，应停泵观察10分钟，看在停泵的情况下井口是否有泥浆流出，以便确定泥浆静液柱压力是否仍大于地层孔隙压力。

(5) 对所有的操作(特别是任何异常现象)作精确的记录，描述所有的油气显示、显示的持续时间、返出泥浆的比重，在有油气显示期间氯化物的含量等。

(三) 抽 汲

当从井内起出钻杆柱时，总是会不可避免地产生某种程度的抽汲。因抽汲而造成的泥浆静液柱压力的减少不允许超过原来的过平衡量，不然地层流体就会进入井筒，因此必须及早发现抽汲以便及时采取补救措施(参见本章第四节(二)1)。

抽汲可由下列原因引起：

(1) 在提起钻杆柱时，粘附在钻杆柱上的液体与井筒内液体之间的内摩擦。

(2) 钻具泥包，因而使环形空间流道面积减小。

如果是第二个原因，则应先将井筒灌满，停止起钻，直至泥包被清除。

影响抽汲程度的因素主要有三项：

(1) 钻杆柱及钻头外形尺寸(环形空间的面积与其有关)。

(2) 提升速度。

(3) 泥浆性能。

在起钻前先作一下短起钻(即起上若干根立柱)，然后进行循环并观察从井底返出泥浆的情况，这种方法能帮助操作者判断井下是否有抽汲产生，也有助于确定是否需要调整提升速度及泥浆性能。

抽汲的严重程度几乎同泥浆的屈服点成正比，所以控制泥浆的屈服点很重要。降低泥浆的固相含量可降低其屈服点。

泥浆的失水量越小，粘附在井壁的泥饼就越薄，页岩的膨胀量也越小，这样可以减轻钻头及扶正器的泥包程度，因而能减轻抽汲作用。

如果低的起钻速度和良好的泥浆性能还不能完全避免抽汲的发生，则应考虑采用伴随循环的起钻方法(即在每起一个立根前先循环一段时间泥浆)。

(四) 泥浆比重过低

在钻井过程中，当某个被钻穿的地层的孔隙压力高于在用泥浆的静液柱压力时，就会出现“欠平衡”的情形，即这时的泥浆比重已不足以平衡地层孔隙压力。这时初次控制就无法维持，必须采取二次控制的措施。

在某些情况下，当上述欠平衡的情形出现后，不一定要加重泥浆，也无需采取二次控制的措施，钻井作业仍可暂时进行而不致发生危险。当钻穿一个具有低渗透率及低产能的异常压力地层时，情况就是如此。这时井的涌流不严重，但当井底泥浆返出地面时，会有油气或矿化水的显示。

(五) 井 漏

在钻井或修井过程中有时会遇到井漏。发生井漏会使静液柱压力的过平衡量减少或丧失(和井漏的严重程度有关)。

在预计会遇到井漏的地区,在钻穿预计的漏失地层之前,应采取下列预防措施:

- (1) 在保证安全的前提下采用最低的泥浆比重。
- (2) 采用低屈服点及低塑性粘度泥浆,并保持其最佳性能。
- (3) 降低泵的排量以减少在环形空间里的摩阻损失。
- (4) 选择适当的钻杆柱尺寸(钻铤直径及长度、加厚钻杆、扶正器等),以减少压力波动及在环形空间里的摩阻损失。
- (5) 将钻头的喷嘴去掉或将普通钻头的流道加大。
- (6) 降低下放钻具的速度以减少压力波动。

一旦遇到井漏,可以有几种补救的办法:

1. 轻微井漏

- (1) 在加入堵漏材料的同时小心地进行钻进。
- (2) 降低泥浆的屈服强度及泵的排量。

2. 严重井漏

(1) 将方钻杆提出转盘并观察井的情况。如果没有泥浆返出,可用以下方法来获得计算漏失地层所能承受的液柱压力梯度所需的数据:

① 用录井钢丝绞车探液面。

② 将一定数量的水灌入环形空间(不过最好不要灌到套管鞋以下,以免损害井眼)。

然后分阶段循环混有堵漏材料的比重较低的泥浆。

(2) 设法挤注特殊的堵漏“软塞”(诸如制备盐基泥浆用的粘土、柴油加膨润土或水泥等)以封住漏失地层。

(3) 如果漏失地层封不住,则在沒有泥浆返出的情况下继续钻进。

已被封堵的漏失层能承受一定的井下压力(其大小取决于地层的类型及所用的堵漏材料种类),不过仍然应当在钻达一个非渗透性地层后立即下套管,除非是钻开发井,并且已经知道深部地层的孔隙压力不会再增高了。

在修井过程中,在初次压井或进行其他作业时也会出现井内液体漏入生产层的情况。当对一个多层完井而各生产层之间的孔隙压力又相差较大的井进行修井作业时,发生井漏的情况是不多的,如果发生了井漏,只有采取机械方法(封隔器或水泥)将漏失层隔离或临时打一个桥塞的办法来处理。

3. 海上钻井时泥浆柱压力的作用及井漏

在海上钻井作业中,从钻台面至井底的泥浆柱压力梯度是不变的。而在同一区间内的上覆——地层压力梯度却有很大的变化。两者之间的差值使得保持初次控制比在陆上钻井时更为复杂。从钻台到水面这一段的上覆——地层压力梯度为零,从水面到海底这一段则存在着海水的“覆盖”压力梯度,海底以下才开始有地层压力梯度。

特别是在深水钻井时,更要十分小心避免将地层压裂,也就是说要采用尽可能小的过平衡量以免发生井漏。

(六) 泥浆返出管线的显示

如果返出的泥浆量突然增加，在用泥浆池内的泥浆体积也有增加，通常就是发生井涌的标志。当气侵泥浆或被地层流体污染的泥浆从井下返出时，会在泥浆管线中有所显示，这种显示的本身并不一定意味着发生了井涌。这类显示可分为以下几种情况：

1. 钻穿渗透性地层的显示

当钻头钻入一个多孔的渗透性地层时，岩屑的孔隙中所含的液体或气体会进入泥浆。如果钻穿的是含气层，不论在用的泥浆比重是多少，岩屑中的气体体积在随泥浆上升的过程中都会膨胀许多倍，因而泥浆返出时表现为气侵泥浆。这类显示所持续的时间不应当比钻穿该渗透性地层所需要的时间更长。

气侵泥浆只会略微减小井底处的泥浆静液柱压力(参见附录4)。

这种显示的特征为：

- (1) 当井底泥浆返出到井口时，在泥浆管线中出现气侵或被水或油污染的泥浆。
- (2) 泥浆池液面不会立刻上升。如果钻穿的是一个含气层，在气体到达地面之后，泥浆池液面会稍有上升。

出现这种显示时，不必提高泥浆的比重，但需要进行除气，以防止随着气体循环到地面而使泥浆中的气体含量越来越高(这会使井底处的泥浆静液柱压力进一步减小)。

2. 抽汲显示

(1) 这种显示是由于起钻引起泥浆柱的静压力暂时的降低而造成的，如本章第四节(三)所述。这种显示具有以下特征：

- ① 当井底泥浆返出到地面时，泥浆管线里有气侵或被水或油污染的泥浆。
- ② 泥浆池液面不会立刻升高。如果有气体进入井筒，则当气体到达地面后泥浆池液面会稍有上升。

(2) 当提升泥包的钻头或泥包的扶正器等钻具时，气体会以气泡的形态被抽汲入井筒。在这种形态的气体在环形空间里上升到地面之前一些时候，泥浆池液面及泥浆流量就已经有所增加了。气泡的膨胀可能会造成欠平衡(是否会造欠平衡取决于气泡的大小)，因而必须采取二次控制措施以重新建立过平衡。

3. 高压低渗透率地层的显示

当在一个压力较高而渗透率低的地层中钻进时，起钻后常会出现这一类的显示。这是因为在钻进时泥浆柱的静液柱压力加上环形空间摩擦阻造成的附加压力足以平衡地层孔隙压力，但单靠静液柱压力本身并不足以阻止地层流体进入井筒，所以当泥浆停止循环后地层流体便流入井筒。停泵的时间越长，进入井筒的地层流体数量便越多。

如果地层孔隙压力大于泥浆静液柱压力与摩擦阻造成的附加压力之和，地层流体会连续地流入井筒，但流量很小，所以流动的泥浆不会被严重污染。这种情形由页岩的塌落而反映出来。

(七) 警告信号

在泥浆管线中出现气侵泥浆或被地层流体污染的泥浆表明已钻到了含油气的地层。这时如果泥浆总体积没有立即增加则钻井作业仍可继续进行，但必须继续严密监视泥浆池液面。

机械钻速的突然提高可能由多种原因引起。它可能是已经钻到高压地层的第一个值得注意的信号，因此每当出现这种现象，就应当作这样的考虑并检查井内是否有涌流，以及早发

现井喷。

(八) 用浮式海洋钻井设备钻井时丧失初次控制

在用浮式海洋钻井设备钻井时，如果靠近防喷器组的隔水导管突然脱开或破损，可能对初次控制产生严重的影响。这时原来由钻台至防喷器组这一段隔水导管中的泥浆柱的静液柱压力丧失了，剩下的只是由水面至防喷器组这段高度的海水的静水压力，因此井内的过平衡量骤然减少。如果水不深，所用的泥浆比重又较低，那末这种减少的量不大，过平衡状态仍可能维持；如果水较深，而所用的泥浆比重又较高，过平衡状态便不能维持，初次控制就会丧失，于是必须立即采取二次控制措施。这可以通过开动一套应急控制系统来实现，关于这个问题可参见第二章第二节(二)的最后一点。

当隔水导管内的泥浆液面突然跌落时，隔水导管可能会被挤扁(这种情形是否发生取决于隔水导管的直径、强度及水深等因素)，所以在水面以下某个深度处需安装一个可自动将隔水导管灌满的阀。

第五节 二次控制

当初次控制不能维持时，必须使用防喷设备来对井进行控制，这称为“二次控制”。本节叙述实现二次控制的技术。

(一) 识别井涌

井涌表明地层流体正在流入井筒。机械钻速的突然提高、泥浆管线中的泥浆被天然气、盐水或原油污染则都是井涌的信号。

当井内泥浆静液柱压力低于地层孔隙压力(欠平衡)，而地层又具有生产能力时，就会发生井涌。

井涌的严重程度取决于欠平衡量、地层的渗透率和地层的生产能力。

当井涌发生时，可以观察到返出的泥浆流量及在用泥浆池中的泥浆体积突然增加，所以当井涌发生时应立即关井。

大量的地层流体流入井筒会使地面上的泥浆体积在很短的时间内大量增加，大量的地层流体流入井筒也会使随后的压井作业过程中环形空间的压力增高，所以井涌必须及早处理。在这种时刻时间是关键，所以配备的设备应当合适，井队人员应受过培训，以便及时发现泥浆体积的微小变化。决定是否应当立即采取措施是司钻的责任。

注：返出泥浆的流量增加并不一定是井涌的确定无疑的证据，但一旦发现这种情况应毫不迟疑地关井。

(二) 压制井涌的方法

现在已发展了多种控制井涌的方法，其中两种方法需要进行循环，另两种方法不需要进行循环。下面对前者将详细地加以叙述，对后者只作简略的介绍。

1. 平衡泥浆比重法

这个方法通常是循环排除井涌并将井控制住的最好方法，在本章第五节(四) 1 中会详细介绍。

这个方法的原理是：

以恒定的排量循环具有足以平衡地层压力的比重的泥浆，在此同时调节节流阀的开度以保持一个比地层孔隙压力略高的井底压力，从而阻止地层流体再流入井筒。

这个方法可通过一次循环将井压住。

采用这个方法时，环形空间中的压力比采用其他方法时都低，因此在大多数情况下，就避免地层被压开这个意义上来讲，它是最安全的一种方法。这个方法的另一个优点是：裸眼井段、套管及井口装置承受高压的时间最短。

为了应用这个方法，在井场上应当总是储备足量的重晶石。

这个方法将在本章第五节(九)中通过例1来作详细的说明。

2. 司钻法

该方法只是在平衡泥浆比重法不能采用时才采用。

司钻法通常需进行两次循环才能把井压住，这将在本章第五节(四)2中详细叙述。

第一次循环时，用在用的泥浆将侵入井内的地层流体循环出井筒，并通过调节节流阀开度的办法来维持一个比地层孔隙压力略高的不变的井底压力，从而阻止地层流体再侵入井内。

第二次循环时，用加重泥浆来替出在用泥浆以平衡地层孔隙压力，同时调节节流阀。

在本章第五节(九)中，将通过例2来详细说明这个方法。

3. 体积法

当井内的钻杆柱已大部或全部起出或钻杆柱被堵塞时，侵入井内的地层气或含气的液流不能通过循环而排出，这时就需要采用所谓的体积法来将气体从井内排出。

该方法的原理是：

允许侵入井内的气体在上升到地面的过程中膨胀，从而将井底压力维持在一个略高于地层孔隙压力的水平上。

具体做法如下：

让井内的液体经节流阀排出。这时由于井内液体柱高度降低，静液柱压力减小。为了补偿静液柱压力的损失，必须相应地增大套管压力。这可以通过关小节流阀来实现(在实际操作时，最好慢慢地逐步进行)。上述操作连续进行，一直到气体到达地面为止。一俟井内的气体排出后，立即通过压井管线以小排量将泥浆泵入井内以补充排出气体的那部分体积。从这时开始，井内的泥浆柱高度逐渐升高，静液柱压力增大，因此必须慢慢地逐步减小套管压力。

在井内的气体全部排出后，下一步的措施应根据造成井涌的原因来确定。如果气体侵入井内是抽汲造成的，那末在气体全部排出后井口的压力应降为零，可以恢复正常钻进。如果确实已发生了井涌，那末在气体全部排出后井口还会有压力，这样就需要采取进一步的措施。

应用这个方法时，由于井底的情况不总是知道得很清楚，因此不得不作某些假设，所以在应用时要作好充分的预防措施。

在本章第五节(九)中将通过例3来详细说明这个方法的应用。

4. 井口挤注法

如果在起钻过程中或井内已没有钻柱的情况下发生井涌，就可能需要从地面向井内挤注重泥浆来压井。能否应用这个方法取决于裸眼井的状况、套管强度及下入深度，以及地层孔隙压力。

(三) 必要数据的预先记录

要想使二次控制顺利实施，必须要计划好实施步骤，因必须预先记录好有关的数据以避

免不必要的延误。

1. 预先记录数据用的表格

二次控制时可用“井涌控制工作卡”〔参见本章第五节(九)〕来预先记录所需的数据。

在钻井过程中，每当有关参数(诸如套管及井眼尺寸、泥浆性能/压力梯度、钻柱组成及各部尺寸、钻头喷嘴尺寸、地层特性等)有变化时，都要将这些在“井涌控制工作卡”上随时反映出来。

2. 检查泵压

在压井时所用的泵速应比正常钻进时所用的泵速低。这样可以使加重泥浆的工作进行得更顺利，减少在环形空间里的摩阻损失，并可减小地面设备的受力及磨损。在该泵速下的循环压力必须记录下来。

在每换一次钻头开始钻进之前以及在每班开始钻进时，司钻都要选定一个泵速(冲次/分)，待泵压稳定后也应将该泵压记录在钻井日报表上。

使用浮式钻井船在深水钻井时，压井管线及节流管线比在陆上钻井时要长。在压井过程中，这些管线中的摩阻损失可能在环形空间造成过高的背压而将套管鞋周围的地层压裂，所以在深水钻井时必须选用较小的压井排量。

在将防喷器组坐到海底之后，钻开套管中的水泥之前，应测定在各种不同排量下压井管线及节流管线中的摩阻损失。在作这些测定时要注意勿使压力超过20英寸套管的额定承压能力。

以同样的排量分别经钻杆注入由隔水导管返出，以及经钻杆注入由压井及节流管线返出进行循环，分别测出循环时的泵压，两种情况下的泵压的差值即为压井及节流管线中的摩阻损失。

3. 测定钻机混合重晶石的能力

平衡泥浆比重法的目的是通过一次循环将井压住，这就要求在循环泥浆时泵速要保持恒定并同时加重泥浆，使泥浆比重能平衡地层孔隙压力。

但有时泥浆需要加重的量较大，不可能在一次循环中完成，于是必须进行几次循环，每次循环将泥浆比重提高一点，最后加到所需的比重。

泥浆加重的速度的快慢取决于钻机所具备的添加重晶石的最大速度。建议将这个速度测定并记录下来，作为正常的加重泥浆时的参照依据。

4. 确定在地面处环形空间中的最大允许压力

在整个钻井过程中，作用在套管鞋处的液柱压力都不应超过该处地层的强度。

在压井过程中，在套管鞋处允许的最大液柱压力是个关键的参数。为了实用上的方便，这个压力以“在地面处环形空间中的最大允许压力”来表示。在地面处环形空间中的最大允许压力(以下简称“最大地面环空压力”)与套管鞋处的地层强度有如下的关系：最大地面环空压力等于套管鞋处的地层强度减去由地面至套管鞋处的泥浆柱静压力。

地层强度通常可通过“漏失试验”来测定(参见附录15)。

当泥浆柱的静压力(也就是泥浆的比重)变化时，最大地面环空压力也随之变化。只要套管内充满了泥浆，在地面处的环形空间内的压力就不应当超过最大地面环空压力。

5. 在用浮式钻井船钻井时，将钻柱坐在水底防喷器组上

厂内及现场的试验均已表明，平滑的管子可在一段较短的时间内反复通过关闭的环形防喷器而不致造成防喷器密封元件的严重磨损，但钻杆接头反复通过则会彻底损坏密封元件，

因此在发现井涌关井后，应尽快消除钻杆柱与水底防喷器组之间的相对运动。

在装有钻柱升沉补偿器的钻井船上，钻柱可以被直接坐到防喷器组上部的半封闸板上。如果没有钻柱升沉补偿器或补偿器失效，则在坐钻柱以前应先关闭环形防喷器。在这种情况下钻柱必然会有运动，因此必须尽量缩短把钻柱坐到半封闸板上所用的时间。这时需要进行一些特殊的操作，可参见本章第五节(四) 1、2和3。

6. 不管钻井船有没有带钻柱升沉补偿器，都必须要知道钻杆接头相对于防喷器组中最上面的那个半封闸板的位置。为了做到这一点，在钻柱的顶部应使用长度大致相同的钻杆单根(称作“白色单根”)。在附录5中举了这样的一个例子。

(四) 在钻进时或在井底进行循环时井涌的控制

1. 平衡泥浆比重法

1) 原理

在关井后一待立管压力稳定下来，压井所需的泥浆比重就马上可以确定。由于钻杆内的泥浆没有被污染，其比重是已知的，所以该立管压力就代表了欠平衡量。平衡地层孔隙压力所需的新泥浆比重可将关井后的立管压力与原泥浆柱的静压力之和被井的实际垂直深度除而求出。

从开始向井内泵入加重泥浆到压井过程结束为止，必须保持一个恒定的井底压力，这个压力应等于或稍大于地层孔隙压力。具体办法是：在维持泵的速度不变的同时调节节流阀的开度以维持立管压力等于一个预先确定的数值(该压力值可从“井涌控制工作卡”的图表上查到)。

如果在压井过程中立管压力低于预先确定的压力值，那末井底压力就会低于地层孔隙压力，地层流体还会流入井内；如果立管压力高于预先确定的压力值，则有可能造成井漏。

在压井过程中计算立管压力(该压力相应于一个合适的、恒定的井底压力)的方法将在本章第五节(九)中详细说明。

随着加重泥浆不断被泵入钻杆柱内，立管压力应逐渐减小。待加重泥浆到达井底时的立管压力应等于泥浆在钻杆柱内流动时的摩阻损失。此后应不断调节节流阀的节流压力使立管压力保持不变，直到加重泥浆返出地面，然后停泵并观察井内是否仍有泥浆涌出。

在压井过程中节流压力的变化情形与侵入井内的流体种类有关。如果侵入的流体是盐水，则在加重泥浆到达井底之前的这段时间内节流压力应保持不变。此后由于原先环形空间内比重较小的泥浆及盐水逐渐被加重泥浆所替换，节流压力应逐渐减小。在压井过程中泥浆池液面只是因为泥浆中加了重晶石而略有升高。如果侵入井内的流体中含有气体，气体在环形空间里上升时会膨胀，由于气体的膨胀，经节流阀排出的泥浆比从钻杆柱内泵入的要多，这样就减小了环形空间中的静液柱压力。为了维持井底压力不变，必须增大节流压力。在压井过程的初期，气体的膨胀以及因此而导致的节流压力的升高和泥浆池液面的上涨并不明显，但当气体接近地面时就明显了，在气体到达节流阀时到达高峰。在气体由节流阀排出，井内原有泥浆到达地面这一段时间内，节流压力急剧下降。此后随着环形空间内原有的泥浆被加重泥浆所替换，节流压力将逐渐降低，最后降到零。在最后这段时间内，泥浆池的液面只是由于泥浆中加入了重晶石而略有上升。

2) 具体操作

(1) 在发现井涌后立即关井。关井步骤如下：