

钻井井控安全的风险因素与技术对策

高思敏^{1*}, 吴广勤², 郝立军², 樊明冲², 杜庆福³

¹中国石油国际公司(CNODC)乍得上游项目公司, 北京

²西部钻探工程有限公司井控实训中心, 新疆 阜康

³西部钻探工程有限公司钻井液分公司, 新疆 克拉玛依

收稿日期: 2021年11月25日; 录用日期: 2021年12月28日; 发布日期: 2022年1月4日

摘要

随着勘探开发由常规钻井向“三高两浅”井、页岩油-页岩气的大位移水平井和山前构造深井、超深井等高难度钻井领域转移, 钻井井控的风险等级、管控难度和技术要求也随之大幅度提高。为进一步突出钻井安全生产中的井控安全这个核心, 本文系统分析了钻井井控安全的发展现状、风险因素及其技术对策, 是钻井井控实施精细管理、升级管理、创新管理、科学管理, 进而迈向文化管理的战略思考和积极实践。

关键词

钻井井控, 井控技术, 井控管理, 风险因素, 技术对策

The Risk Factors and Technical Measures on the Drilling Well-Control

Simin Gao^{1*}, Guangqin Wu², Lijun Hao², Mingchong Fan², Qingfu Du³

¹CNPC International (Chad) Co., Ltd., Beijing

²CNPC XDEC Well-Control Practical-Training Center, Fukang Xinjiang

³CNPC XDEC Drilling Fluids Branch, Karamay Xinjiang

Received: Nov. 25th, 2021; accepted: Dec. 28th, 2021; published: Jan. 4th, 2022

Abstract

As the exploration and development transfer from conventional drilling to the difficult drilling fields of “three-high and two-shallow” wells, the large displacement horizontal well for the

*第一作者。

shale-oil/shale-gas, and the deep-wells, ultra-deep wells in the foreland structures, the risk levels, control difficulties and technical requirements of drilling well-control are increased significantly. To pay special attention to the key works of drilling well-control safety in the safe production, in this paper, the systematic analysis of the present situations, risk factors and technical measures on the drilling well-control safety are the strategic thinking and active practices for the upgrade management, innovation management, scientific management, culture management, etc.

Keywords

Drilling Well-Control, Well-Control Technique, Well-Control Management, Risk Factors, Technical Measures

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

油气钻井的井控安全是钻井安全生产的核心，其中风险识别、隐患排查和应急处置是安全管理的基本思路和有效举措，国内外也都一直在应用中研究、在实践中完善。其中，以海因里希安全法则(Heinrich's Law)，即事故因果连锁论最为经典。他通过工伤保险统计发现，人的不安全行为、物的不安全状态和环境不和谐事件等是事故的起因，其核心是 300:29:1，即，每发生 300 起违章，就有 29 起违章会导致岗位员工轻伤，有 1 起违章会导致员工重伤或死亡。墨菲定律(Murphy's Law)则揭示了事故发生与发展的内在规律，即事故的必然性、可积性、突变性和可逆性。我国古代就有“金木水火土”的五行轮思想，而全面质量管理(TQM)也认为影响产品质量主要有“人机料法环”五大要素，借用这个原理又诞生了圆盘破洞理论，即，作为井控安全防火墙的圆盘若破洞百出，那么井控安全就会险象环生，若防范事故发生的防火墙圆盘层层被事故隐患所突破就会最终导致事故。也有不少研究论文运用概率分析进行定量计算，包括运用 JHA (工作危害分析)和 LEC (风险评价法)等对主要风险引发事故的概率进行定量评估。更多的文章是通过列举本单位或本地区在生产中曾经发生过的引发井控安全的具体事故隐患谈防范措施，直观易懂。总之，只有找准影响井控安全的风险因素，进而组织风险辨识、风险分析和风险评价，才能正确进行风险识别。本文依据木桶原理的短板思想和细节决定成败的基础认知，运用人机料法环五要素进行系统分析、全面梳理出安全生产中常见的风险因素，坚持问题导向抓针对性措施落实，坚持防控结合、有序应对抓全员、全过程、全方位、全天候和全生命周期的过程控制，通过风险识别和隐患排查随时随地发现和堵塞防火墙上所有破洞，做到全程**防火**，并把应急处置作为后手，做好一招**救火**的准备，为实现井控安全提供一套简单易行的思维方式、行为逻辑和解决办法。

2. 钻井井控安全的发展现状

2.1. 井控管理进入新阶段，但风险管控仍是重中之重

中国石油工业的发展与国家的能源安全与能源需求紧密相联。新中国成立之初，在“贫油论”的阴影中，从玉门油矿出发，走向全国，誓言“宁愿少活 20 年，拼命也要拿下大油田”，先后拿下了新疆、大庆、胜利等一批大中型油气田；改革开放之后，走出去开拓国际市场，主动与国际接轨，先后在南美、中亚、东南亚等地区与外国企业合作参与海外油气田勘探开发。经过几代人的大胆实践、科学发展，井

控安全管理在生产制度化、管理体系化、技术标准化、操作规范化等基础上,助力我国石油走出了一条由贫油之国到石油大国、再到油气勘探开发强国的发展之路,井控管理也进入了精细管理的新阶段,见表 1。为了适应国家新版安全生产法和环境保护法等法律法规的颁布与实施要求,在油气勘探开发过程中,油田企业和钻探企业合力推进“全员、全过程、全天候、全方位、全生命周期等全覆盖”的风险管控和隐患排查举措[1],努力实现“立足一级井控、预防二级井控、杜绝三级井控”的井控安全“零事故”目标。

2.2. 井控技术日趋成熟,但技术系列仍在配套发展

钻井井控,实质上就是通过一系列工艺技术措施实现对井筒压力的再控制,即,在井口重新恢复压力控制、在井下重新恢复压力平衡。在井控实践中,针对井控工作只许成功、不许失败的特点,始终坚持“安全第一,预防为主”的指导方针,不断细化和配套井控技术[2][3]。目前总结形成并广泛应用的井控技术有:1)“井控三早”原则——早发现、早关井、早处置;2)“积极井控”原则——发现溢流立即关井,疑似溢流关井检查,预测溢流提前循环观察;3)关井的“四七动作”原则——四种工况,即钻进、空井、提下钻杆、提下钻铤(包括下套管拔套管)等,每种工况都对应七个关井动作及步骤;4)“井控分级”原则——一级井控、二级井控、三级井控;5)技术配套原则——有 2 种常规压井技术和 8 种特殊压井技术及其配套,在实践中形成了天然气井[4][5]、三高井[6][7]、高压盐水井[8]等系列压井技术。

Table 1. The four stages of the sustainable development about the well control safety management in China
表 1. 国内钻井井控安全管理持续发展的四个阶段

发展成果	第一阶段 1988 年以前	第二阶段 1988~2003 年	第三阶段 2004~2014 年	第四阶段 2015 年以来
管理特征	经验管理	制度管理	规范管理	精细管理
管理方式	推广工作经验	推行 TQM 管理	推行 QHSE 体系	开展企业文化建设
制度建设	生产责任制 选树典型	完善责任制度 制度化管理	完善管理制度 严考核硬兑现	签订安全责任状 建立责任清单
员工培训	师傅带徒 干啥学啥	集中办班培训 专项办班培训	井控系统培训 井控取证、换证	集团升级培训 井控专家、井控明白人
井控管理	科学打探井	出台井控细则	细化井控细则	六条禁令、四条红线
应急救援	井队自救、呼救	片区驻井卫生员	成立应急中心	建设应急分中心
素质管理	岗位技术比武	强三基管理	队伍资质管理	专家驻井把关、 EISC 支持
井控责任	班组是主体 队长是主责	实行项目管理 甲方巡回监督	甲乙双方 责任共担	一岗双责、党政同责 失职追责、升级问责
安全活动	安全教育 井控演习	安全教育 大于 100 天	安全红黑榜 现场观摩学习	四条红线 升级管理
主流井深	<3000 m	<4000 m	<5000 m	<8000 m
主流井型	直井(试验井)	水平井(1000 m)	丛式井(1200 m)	平台井(大位移)
主流钻头	牙轮钻头	PDC 钻头推广	PDC 钻头普及	PDC 与牙轮复合钻头

2.2.1. “防控结合，有序应对”仍是井控管理的根本

从图 1 中可以看出，运用圆盘破洞理论，从发生气侵到发生溢流，再到发生井涌直到发生井喷，甚至井喷失控，每一道关口都有其防控目标和任务，若层层失守，就会逐级发展，由一级井控发展到二级井控，最后到三级井控。由此可见，落实“井控三早”要求是井控管理的主要内容，坚持“防控结合、有序应对”的原则是井控管理的根本手段。在钻井实践中，首先是加强监测“防溢流”，即，钻前坚持设计把关、(设备)充分准备、开钻验收等；钻中监测油气显示，尤其是后效反应、单根气的强度等资料。其次是班自为战“控溢流”，即，发现溢流立即关井，根据实际情况评估压井难度、选择压井方法并组织实施压井方案。最后是有序应对，冷静开展应急处置，特别是针对井喷失控的井，要采取非常手段快速控制井口，减小经济损失和社会影响。

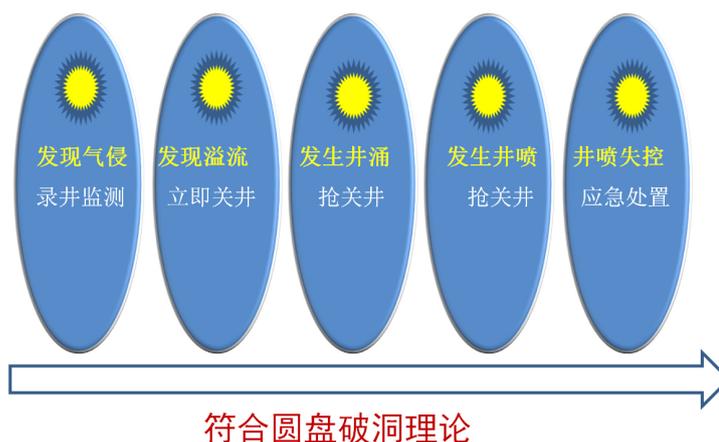


Figure 1. The development processes of “three-soon of well control” (in accord with the disk leak theory)

图 1. “井控三早”发展过程(符合突破层层防线的圆盘破洞理论)

井控三早的技术关键和前提条件是能尽早发现溢流[9] [10]，为关井赢得足够的时间。但在三高两浅井、大位移水平井、使用油基钻井液的井、受邻井干扰的井等井中，要及时发现并准确判断出溢流往往会遇到下列干扰：

1) 坐岗人员经验不足会干扰溢流的及时发现

- 对回流量、泵的吸入量、理论消耗量判断不清，影响了对溢流、井涌时溢流量的准确计算等。
- 对倒浆、加胶液、失水量、固控消耗量等基础资料收集不准、掌握不及时。
- 对钻井液变化的增减原因判断错误等，特别是把地层溢流量误判为地层回吐量，延误了关井时机。

2) 流体性质为气相的会干扰溢流的及时发现

a) 钻井四种工况下，若地层流体是油、水等液相流体，溢流量受井深和液柱压力的影响较小，易于早期发现溢流。但在提下钻期间因灌浆不及时或在钻进与循环期间液面监测受到干扰会影响溢流的及时发现。

b) 若地层流体是气体、凝析油或气油比较高的流体，因受井深和液柱压力的影响明显，或因气在油基钻井液中的高压溶解效应等，使溢流难于早期发现，但距离井口较近(如井深小于 2000 m)时因为滑脱与压力减小的双重效应，气体溢流物的体积膨胀迅速。浅层气和浅井气(一般指井深小于 1500 m)也是这个原理，时常来不及反应就发生井喷了。

c) 若是大位移的水平井[11]，停泵期间，溢流物在水平段，一般会沿着高边前移，在溢流所形成的

气柱进入斜直井段前，特别是钻头不在井底且在溢流物段前循环时，溢流都处于隐蔽状态，一旦溢流物进入斜直段就会因所受液柱压力变小而快速上移，给及时关井带来风险。

3) 因溢与漏发生在同一裸眼段会干扰溢流的及时发现

对于因发生井漏或重力置换而出现失返性漏失的井，需要借助环空液面监测才能及时掌握液面高度，这时因环空液位快速下降导致井底液柱压力也迅速下降。一种状况就是井下自动找到压力平衡使环空液面维持在某一高度，另一种情况则需要及时吊灌维持环空的液位高度。目的就是要维持井底压力平衡以有效抑制溢流的发生；否则，就会因持续漏失引发液柱压力降低进而引发溢流甚至井喷。钻井实践中，像这种由漏转喷的情况也是比较常见的。若在同一裸眼段内，由于安全密度窗口窄，就会出现溢与漏同层，可能是上漏下出，也可能是上出下漏。遇到这种情况时，井控难度会更大，处理过程会更复杂。

2.2.2. “井控分级”仍是技术关键

图 1 告诉我们，井控处置是一个动态的过程，可分为溢流、关井和压井三个阶段。从关井开始，井控处置就一直在动态地变化着，即一级井控和二级井控，若处置得当可马上转入正常钻进，否则会升级发展，使井控处置进一步复杂化。

1) **一级井控**，近平衡钻井条件下气侵规模较小，对环空液柱压力影响较小，可通过循环加重、节流排污等常规压井方法进行处置。

2) **二级井控**，在负压差作用下发生连续较大规模气侵，甚至发生置换效应，引发溢流或井涌，经过发现溢流、快速关井、及时压井等三大步骤后，采取有效的压井方法排除溢流，使油、气、水不再侵入井筒。

3) **三级井控**，指发生井喷及井喷失控后，需要通过更换井口、重置井口或钻救援井等抢险作业实施压井，以重新实现对井口控制，进而恢复井下压力平衡。井喷失控通常有七种状况，分别是：a) 井口没有防喷器(没有装或在更换井口的过程中)，无从关井；b) 井口装有防喷器，但没有正确关井；有的井虽然正确关井了，还会遇到，c) 钻具内失控；d) 防喷器或井口周围刺漏；e) 因水眼堵或环空堵而无法建立循环；f) 钻头不在井底；g) 井内钻具很少或根本就没有钻具等意外情况。

2.2.3. 井控技术配套仍是井控安全的致胜法宝

1) 常规压井技术有 2 种：

即，**司钻法压井技术** 和 **工程师法压井技术**。常规法压井是压井的基础，其成功的要领是：方法对、排量稳、密度准、回压够、不许漏，组织要合理、施工要连续。

2) 特殊压井技术有 8 种：

a) 反循环法特殊压井技术。

b) 分段循环法特殊压井技术。

c) **3 种先治漏后压井的特殊压井技术**：正循环堵漏压井、反循环堵漏压井、反推法堵漏压井等压井技术。

d) **3 种创造下钻条件的特殊压井技术**：置换法压井、直推法压井、平衡点法压井等压井技术。

近年来压井失败的井固然特少，但压井方法单一仍然是一大短板或隐患。为此，深入分析压井现场的实际情况，细致梳理各种压井方法的使用条件，只要能针对井口和井下的压力状况、含硫状况、产能状况等做到有的放矢、对症下药、灵活把握、科学运用，就能有效解决压井过程中遇到的各种复杂问题。

例如：1) 在**含硫油气井**压井中，在压力可控的前提下，先要把解决 H_2S 的问题放在首要位置，一般会把压井液的 pH 值提高到 9.0 以上，先用压回法平衡地层压力，再用循环法排干净井内硫化氢，即先用特殊压井方法把二级井控转化成一级井控，再用常规压井的司钻法或工程师法压井。2) 在三高井(**高温高压高**

产井)的压井中,一般会先评价压井难度,采用非常规压井技术使井控级别从二级降至一级再组织常规压井[12]。而对受到邻井压裂、注水、注汽或注气等干扰的井,一般会安排在邻井先实施泄压,待井口压力恢复稳定、具备常规压井条件后再实施常规法压井。3) 在井喷失控井(wild well)的抢险中[13],首要问题是要恢复对井口的控制,实现井控级别由三级降为二级,再根据井口和井下压力状况,采取非常规压井技术使井控级别由二级降为一级,再根据实际情况组织常规压井。

压井过程中,用好甲乙双方会的会商决策机制,正确判断压井难度和应急决策[14][15],既要避免“等靠要”(即,等方案、靠上级、要支援)消极态度,又要避免自作主张、盲目蛮干的个人英雄主义。一定要做好充足的压井准备,力争一次性解决压井问题,千万不能因为误判井下情况或用错压井方法而出现人为的压井失误。例如,司钻压井法适合于地层压力低,不含硫,溢流量小的井控问题,但若错把司钻法压井用于高产气井压井,不但压不住井,反而会错失良机,而造成井控风险增高。总之,常规压井技术是基础,只有针对压井的特殊需要选对特殊方案并实现井控技术的有效组合才能出奇制胜、化险为夷[16][17]。

2.3. 井控安全可防可控,但实现“零”目标依然任重道远

据不完全统计,在2008~2018年11年间,国内每年发生溢流井次及关井次数一般在100~200井次,但发生井喷及井喷失控的年份只在2008年发生2次、2013年发生1次,见图2。墨菲定律告诉我们,事故发生有其必然性,而图2中每年发生溢流关井的次数依然居高不下,也就意味着随时随地都有发生井喷及井喷失控的可能。我们只有抓住风险识别的每个细节、及时排查并消除所有隐患,才能使井控做到可防可控,并有效控制井控层级的发展。由此可见,追求井控安全“零事故”目标仍任重道远。



Figure 2. The statistics of 2008~2018 annual well controlled overflows (in accord with Murphy's law)

图2. 国内2008~2018年度井控溢流险情初步统计(符合墨菲定律)

3. 钻井井控安全的风险因素与技术对策

3.1. 钻井井控安全的风险因素

影响井控安全的风险因素众多。金业权等人曾组织专家对井控案例中实际发生的井控风险进行统计分析，主要归类为主观因素和客观因素[18]。其分析结果是，主观因素占比为 47.63%，其中，措施不当占 17.5%、井控装备(人为因素所致)占 11.8%、管理不当占 9.8%、井身结构(设计不当等)占 5.28%。客观因素占比为 39.37%，其中，流体特性占 18.70%、地层压力占 14.00%、特殊岩性占 4.27%、层位不清占 2.40%；其他因素(既有主观原因也有客观原因)占 16.25%，主要是井眼复杂情况占 13.00%、固井质量 3.25%。该统计结果中没有关于机和料的因素，但主观因素(人的因素)大于客观因素(地层的因素)也是目前井控管理的普遍特征。

图 3 和表 2 是采用五要素法的归类结果。可以看出，在人机料法环的五大要素中，“人”是关键，人的素质决定一切；“机”是核心，一旦发生井控险情，只有井口防喷器系统安全可靠，才能有效避免井口失控；“料”是基础；“法”是保障；“环”是主导，特别是地下油气层位置、储集类型、地层压力(油气层压力，包括注水、注汽、注气、邻井压裂等)、流体性质和地层产能等是影响井控安全的主导因素；地理位置、气候环境和生态环境等是可防不可控的井控因素，而且这些地面因素会使井控安全问题进一步复杂化。

3.2. 钻井井控的技术对策

在表 2 中，虽然针对所存在的问题提示了相应的对策要点，但井控安全是一个系统性问题，需要以“人机料法环”为基础，按建设现代企业的管理要求，开展企业管理、技术、信息、制度等综合治理，推进企业文化和井控安全子文化的建设与应用。

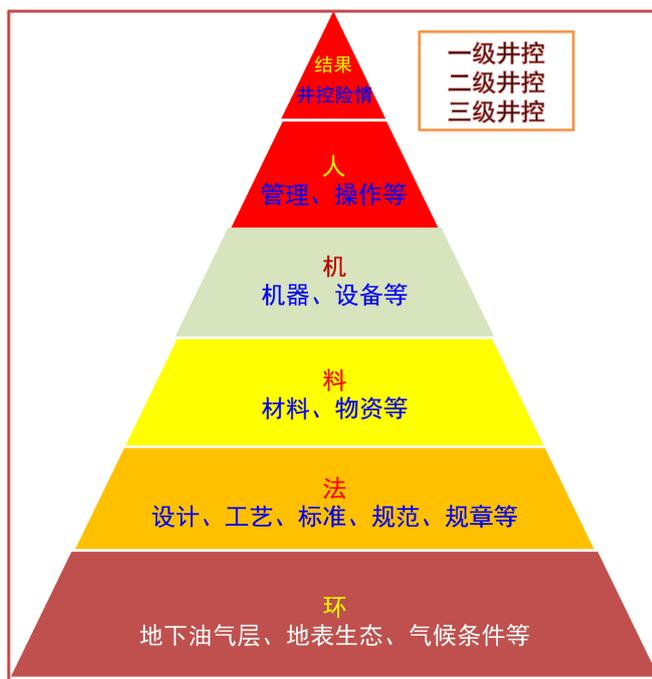


Figure 3. The causal relations of the drilling well control safety (in accord with Heinrich's law)

图 3. 钻井井控安全的因果关系(符合海因里希的事故因果论)

Table 2. The risk factors and technical measures for the drilling well control safety
表 2. 钻井井控安全的风险因素与技术对策

钻井井控安全的风险因素			技术对策	
五要素	主要环节	具体细节		
人	管理素质不到位	井控意识不到位	宣传教育, 强化意识	
		井控培训不到位	专题培训, 抓住要点	
		井控演练不到位	实战演练, 突出实用	
		岗位评估不到位	完善措施, 评训结合	
	案例分享不到位	专题宣讲, 学用结合		
	技术素质不到位	理论基础薄弱, 实践经验不足	学干结合, 锻炼成长	
	操作技能不到位	操作规程不熟悉, 实际动手不熟练	工匠精神, 一丝不苟	
	钻井作业不到位	如, 固井质量、水泥返高不合格等	专项攻关, 突破瓶颈	
机	协调指挥不到位	协调不力、指挥不当	完善预案, 有序应对	
	井控设备不到位	安装使用、维护保养、更新换代不及时	过程监管, 常抓不懈	
	配套设施不到位	利用率偏低, 完好率偏低	综合利用, 保障应急	
料	应急设备不到位	功能不齐全, 功率不满足	社会资源, 拓展服务	
	材料配件不到位	供应不及时, 保障有困难	仓储建设, 保障供应	
法	应急物资不到位	种类不齐全, 用时找不到	应急中心, 集中保障	
	井控设计不到位	钻井液密度、井身结构、井控设备压力级别	优化设计, 科学合理	
	钻井工艺不到位	井眼轨迹控制、钻井液体系使用	完善工艺, 配套技术	
	井控措施不到位	针对性、预见性、可操作性	完善措施, 有备无患	
	应急预案不到位	针对性、科学性、完整性、应急准备	完善预案, 有序应对	
	规章制度不到位	不能逐年修订完善	完善制度, 标准规范	
环	标准规范不到位	技术标准、行业规范、操作规范等	突出重点, 完善管理	
	地下环境	地质条件不清 (油气层位置不清)	设计不准、卡层不精准 预案不足, 应对不及时	随钻监测, 跟踪钻头 做好预案, 有序应对
		地层压力不清 (油气层压力不清)	设计不准, 控制不及时 储备不足, 应对不及时	随钻监测, 实时预告 储备充足, 有效处置
		流体性质不清 (油、气、水、H ₂ S)	设计不准, 监测不及时 动员不力, 撤离不及时	随钻监测, 随钻解释 科学应对, 避免灾害
		地层产能不清 (油气水产能不清)	设计不准, 控制不给力 准备不足, 救援不力	随钻监测, 科学预测 提高等级, 保障安全
	地面环境	严寒+/暴风雪	冬季, 极端自然天气	完善预案, 防冻保温
		炎热+/暴风雨	夏季, 极端自然天气	完善预案, 防暑降温
		植被+/江河湖海	生态敏感区	完善预案, 避免污染
厂矿+/学校		居民生产生活区	完善预案, 避免扰民	

3.2.1. 坚持问题导向

针对人的不安全行为、物的不安全状态、环境不和谐表现、技术措施不配套等典型问题，再结合表 2 中所列人机料法环等典型问题逐项逐个研究分析，制定专项治理措施。把提升岗位人员素质作为队伍建设的根本，打造一批井控明白人，打好“积极井控”、“井控三早”、“班自为战”的技术基础。

3.2.2. 坚持目标导向

要实现“立足一级井控、预防二级井控、杜绝三级井控”的管理目标，重点要抓好三个方面的推进：

1) **推进地质—工程一体化**。发挥好录井技术在井场随钻服务中捕捉油气的眼睛作用、安全钻井的参谋作用和为远程智能决策提供支持的信息平台作用[19]。为进一步推进地质—工程一体化进程，钻前，要注重录井在地质认识(构造特点、地层展布、油气分布等)、地层压力等风险识别的基础研究；钻中，要突出录井跟踪对比地层、及时发现油气显示的实时性和主动进行事故预告的指导性；钻后，要提升录井及时分析总结的技术空间和应用水平。

2) **推进井控技术配套**。组织典型案例分析，形成配套井控工艺技术。进一步完善油田企业和钻探企业之间所建立的井控联动机制和问题会商决策机制，进一步完善判断井控难点、决策压井方法的 EISC 专家组智能支持机制，为解决复杂井控问题提供资源保障和智力保障。

3) **推进瓶颈技术攻关**。针对三超井、三高两浅井、高含硫井，组织井控管理、井控技术、井控设备、溢流监测等技术攻关，解决瓶颈问题，进一步提升井控风险的管控水平和处置能力。

3.2.3. 坚持需求导向

1) **开展典型案例的归类分析**。完善地质认识、工程措施和施工策划，推进专家库和知识库双重建设。

2) **开展管理问题的归类分析**。完善 QHSE 体系管理，推进钻井井控安全文化管理的落地与升级。

3) **开展瓶颈问题的归类分析**。针对井控应急抢险中的设备和技术难题，组织多学科专家、多渠道投资，积极组织井控的技术体系研究和技术瓶颈攻关。

3.2.4. 坚持对标管理

1) **开展公司内对标**。加强班组建设，弘扬“班自为战”的团队精神。

2) **开展油田间对标**。加强横向交流合作，推进管理、技术和操作融合发展。

3) **开展国际间对标**。加强技术学习、促进文化交流，推进国际化合作。

3.2.5. 坚持“四条红线”

1) **全员宣贯，明确要求**。多渠道宣贯落实，确保全体员工深刻领会和全面把握“四条红线”的管控要求。

2) **全面排查，责任到人**。加强风险识别、隐患排查、源头防范、合理安排、科学施工，严禁违章指挥、违章作业，全面落实领导的直线责任和岗位的属地责任。

3) **全力防控，有序应对**。开展案例教育，警钟长鸣。接班做到岗位职责清，首先解决遗留问题；上岗做到巡回检查清，做好风险评估、隐患排查工作；在岗，做到值班任务清，集中精力、执行标准、规范操作；交班，做到工完、料尽、场地清，提示风险点。

3.2.6. 坚持自我完善

运用 PDCA 循环思路，每年征集修订内容：

1) 完善管理体系，确保科学、合理。

2) 完善规章制度，确保实用、够用。

3) 完善技术标准，确保先进、适用。

3.2.7. 坚持文化建设

在企业文化建设中, 进一步加大安全文化和井控安全文化等企业子文化建设步伐。

- 1) 完善发展理念, 持续规划企业愿景。统一思想与认识, 推进员工对井控安全文化的认可。
- 2) 完善管理制度, 持续细化行为准则。全面贯彻执行国家和地方政府的法律法规、行业规范等, 不断完善企业内部的管理标准、技术规范、操作规程, 把规则要求变成员工的行为习惯。
- 3) 打造企业品牌, 持续提升安全表现。用优秀的企业品牌和超群的安全业绩提升与巩固企业竞争力。

4. 结论

1) **人是钻井井控的决定因素**。在五要素中, 队伍能力(特别是人的素质)是**防控结合有序应对**的决定因素。油气层是溢流、井喷的动力源泉, 地层能量直接影响到压井的工艺技术和措施手段, 流体性质和地面环境也直接决定井控风险等级与危害程度。

2) **法是钻井井控的保障因素**。钻井液密度、钻井液体系、钻井工艺和井眼轨迹等钻井工艺的优选及风险识别、隐患排查等防范措施的细化等既是勘探开发的地质需要, 也是安全钻井的技术手段, 又是预防溢流与井喷的措施对策。

3) **井控安全是安全生产的核心内容**。井控安全有着安全管理的共性, 物的不安全状态、人的不安全行为、能量意外释放的不安全环境等也都直接威胁着井控安全, 必须从风险识别着手, 全面践行以人为本、红线管理、设计把关、过程控制、完善提升等一系列井控理念, 确保井控安全万无一失。

4) **分级管控是钻井井控的技术关键**。井控技术的本质是“再造井内压力平衡”。井控的分级管理是关键: 一是按井控处置难度和井控风险可控程度, 将井控分级为一级井控、二级井控和三级井控, 井控技术的目标是立足一级井控、预防二级井控、杜绝三级井控。二是依据管理层次分为集团公司、油田+钻探、钻井公司、钻井队四级管理。

5) **万无一失是钻井井控的最高目标**。井控安全具有只准成功不准失败的特点, 只有井控工作做到万无一失, 才能确保钻井安全, 才能完成设计任务, 达到钻探目的, 万无一失既是井控安全的最高目标, 也是井控安全的最低要求。

5. 建议

1) **进一步加强地质研究和井控专家队伍建设**。开展精细地质地层研究, 从设计开始就为井控把关; 同时加强专家队伍建设, 进一步强化一线人员风险识别、隐患排查和应急处置的能力, 确保做到措施到位、防控结合, 有序应对。

2) **进一步加强监测技术与井控装备的研究**。进一步提升井控技术和井控硬件的保障能力, 努力提高测量参数的精度和测量结果的及时性, 为“早发现、早关井、早处置”赢得更多的处置时间。

3) **进一步加强井控安全文化建设**。企业上下对企业文化达成共识, 让企业文化的魂与法成为员工的行为规范, 让领导对井控的要求变成岗位员工的井控习惯。

参考文献

- [1] 高思敏, 张向前, 王立新, 范永均. 谈钻井井控的安全文化与现场实践[J]. 矿山工程, 2021, 9(3): 283-291. <https://doi.org/10.12677/ME.2021.93042>
- [2] 郝立军, 徐绍林, 邵玉田, 等. 钻井井控培训教材[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 99-117.
- [3] Grace, R.D. (2017) Blowout and Well Control Handbook. 2 Edition, Gulf Professional Publishing, Houston, Texas.
- [4] 李洪娟. 天然气井井控技术应用现状及发展讨论[J]. 西部探矿工程, 2018(7): 86-88.
- [5] 黄守国, 李金炭, 梁晶, 李沈阳, 张振海, 马建军, 宛克. 浅气层井控技术[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(5): 64-66.

- [6] 牛新明, 张进双, 周号博. “三超”油气井井控难点及对策[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(4): 1-7.
- [7] 邓勇. 塔里木山前超高压油气井井控技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2010.
- [8] 田径. 钻遇盐膏层高压盐水的井控技术[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- [9] Cormack, D. (2017) An Introduction to Well Control Calculations for Drilling Operations. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-63190-5_3
- [10] 刘书杰, 杨向前, 郭华, 周超. 井控溢流快速判断方法研究[J]. 煤炭技术, 2017, 36(5): 296-298.
- [11] 徐优富. 国外水平井井控技术[J]. 石油钻探技术, 1998, 26(1): 55-57. <https://www.elsevier.com/books-and-journals>
- [12] 吴先忠, 程旭, 吴凯彬, 尹志刚. 高压高产严重漏失复杂井的井控管理[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(S2): 102-104.
- [13] 杨俊成, 佟新宇, 祁欣茹, 刘月姝. 关于石油井控分析和压井技术探讨[J]. 工艺技术, 2019, 39(5): 215-216.
- [14] 许寒冰, 李相方. 压井前井控难易程度的确定方法[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 89-91.
- [15] 安文华, 杨忠峰, 程德祥, 张保书. 迪那2井三次井控技术[J]. 石油钻采工艺, 2002, 24(1): 23-26.
- [16] 汪光太, 高魁旭, 吴虹. 钻井井控压井方法应急决策探讨[J]. 石油工业技术监督, 2012(10): 25-29.
- [17] 王高杰. 钻井井控技术中有关问题探讨[J]. 断块油气田, 2017, 24(6): 851-854.
- [18] 金业权, 方传新, 纪永强. 石油钻井井控风险诱因专家调查分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(8): 74-78.
- [19] 甄建, 邵玉田, 刘树坤, 梅萍, 高连良. 录井技术在钻井井控中的作用[J]. 录井工程, 2011, 22(3): 11-16.