

# 固井施工全过程安全监督要点与管控模式研究

张俊

江汉石油工程有限公司工程技术服务中心 湖北 潜江 433121

**摘要:** 固井作业是油气井建井的核心环节,其质量与安全直接影响井筒完整性、后续作业安全及开发效益。固井施工具有连续性强、隐蔽性高、风险因素多等特点,事故处理难度大且经济损失严重。本文围绕固井全流程,系统分析施工准备、注水泥、顶替、候凝及质量检测等阶段的安全风险与监督要点,指出当前监督存在制度不完善、手段落后、人员素质不均等问题,提出构建以风险预控为核心、分级管控为框架、信息化为支撑的全过程监督模式,为提升固井安全管理提供理论与实践指导。

**关键词:** 固井施工; 安全监督; 全过程管控; 风险预控; 监督模式

引言: 固井施工是油气井钻井工程的关键环节,通过注入水泥浆实现套管与地层的胶结,形成井筒屏障。固井质量缺陷可能引发油气窜槽、井口带压甚至井喷等事故,严重威胁油气田开发安全。因此,研究固井安全监督要点并构建科学管控模式,对保障作业安全、提升固井质量具有重要意义。

## 1 固井施工概述与安全风险特征

固井施工是指在注入套管后,通过注水泥设备将水泥浆注入套管与井壁之间的环形空间,使水泥浆上返至预定高度,待水泥浆凝固后形成水泥环,实现套管与地层的有效封固。固井作业通常包括施工准备、注水泥、顶替、碰压、候凝、质量检测等主要工序。固井施工的安全风险具有以下显著特征:一是风险隐蔽性强,井下情况无法直接观察,水泥浆的流动、顶替及凝固过程存在诸多不确定性;二是连续性要求高,固井作业一旦开始必须连续完成,中途停顿可能导致水泥浆初凝、堵塞管串等严重事故;三是影响因素多,包括水泥浆性能、地层条件、设备状态、人员操作等,任何一个环节出现问题都可能引发安全事故;四是后果严重,固井质量事故往往难以补救,轻则导致固井不合格需要二次作业,重则引发井喷、井漏、套管损坏等灾难性后果。因此,深入理解固井施工的安全风险特征,是开展全过程安全监督研究的基础前提<sup>[1]</sup>。

## 2 固井施工全过程安全风险识别

### 2.1 施工准备阶段风险识别

施工准备阶段是固井作业的基础环节,该阶段的风险识别直接关系到后续施工能否安全顺利开展。主要风险包括:设计风险,如水泥浆配方未经充分试验验证、注水泥参数计算错误、施工方案未考虑地层实际情况等,可能导致注水泥过程中出现闪凝、超缓凝或漏失等

问题。设备风险方面,水泥车、混浆撬、供液泵等关键设备若未进行充分检查和试运行,施工过程中可能出现设备故障导致注水泥中断。材料风险主要表现为水泥、添加剂质量不合格或存放不当受潮结块,以及现场材料数量不足。井眼准备风险包括井眼净化不彻底、钻井液性能调整不到位,可能影响水泥浆的顶替效率。人员风险则体现为技术交底不充分、岗位分工不明确、应急预案缺失等管理缺陷。施工准备阶段的风险识别应覆盖上述各个方面,系统梳理设计、设备、材料、井眼、人员等各类风险的来源与表现形式,为后续制定针对性监督措施提供依据。

### 2.2 注水泥与顶替阶段风险识别

注水泥与顶替阶段是固井施工的核心环节,也是安全风险最为集中、事故发生率最高的阶段。注水泥阶段的主要风险包括:水泥浆密度失控风险,若混浆系统故障或操作失误,导致水泥浆密度偏离设计值,过高的密度可能压漏地层,过低的密度则影响封固质量。注水泥中断风险最为严重,一旦水泥车故障、管线堵塞或供料中断,注水泥无法连续进行,可能导致水泥浆在套管内初凝,造成“插旗杆”事故。顶替阶段的风险主要包括:顶替速度不当,过快可能产生紊流冲刷井壁导致漏失,过慢则难以实现有效顶替;碰压判断失误,若因水泥浆絮凝或管线堵塞造成假碰压,操作人员提前停止替浆,可能导致套管塞未到位,留下重大质量隐患<sup>[2]</sup>。环空憋堵风险也需高度关注,若井壁坍塌物或高粘钻井液造成环空流动阻力过大,可能导致泵压异常升高,超过地层破裂压力或设备额定压力。该阶段的风险识别要求监督人员具备丰富的现场经验,能够通过泵压、排量、密度等参数的变化趋势及时发现异常征兆。

### 2.3 候凝与质量检测阶段风险识别

候凝与质量检测阶段虽然不涉及连续施工作业，但同样存在不可忽视的安全风险。候凝阶段的主要风险包括三类：一是井口渗漏风险，即井口装置密封不严或压力控制不当导致水泥浆倒流或油气上窜；二是水泥浆失重风险，即水泥浆柱压力不足以平衡地层压力时，高压油气流体窜入水泥环形成窜槽通道；三是井口带压风险，即候凝期间环空出现异常压力，可能预示地层流体窜入。质量检测阶段的风险主要包括：测井作业风险，如放射性测井源使用不当造成辐射安全事故；压力测试风险，试压参数失控可能损坏套管或水泥环；检测结果误判风险，将不合格井段误判为合格，留下安全隐患。该阶段的风险识别要求监督人员具备持续的风险意识，明确各类风险的特征与判断依据，为后续针对性监控奠定基础。

### 3 固井施工安全监督的现状与问题

#### 3.1 制度建设短板明显

目前，固井施工安全监督在制度层面问题突出。许多作业单位没有专门的固井监督规程，监督依赖个人经验，缺乏统一标准。现有制度重结果验收、轻过程管控，对各阶段监督内容、频次和方法规定模糊。安全责任划分不清，各方职责界面不明，出问题易推诿。监督记录不规范，纸质记录格式杂乱、关键数据缺失，事故分析困难。且缺乏监督考核与问责机制，监督人员履职无评价标准，监督工作易流于形式。

#### 3.2 监督技术手段落后

固井施工安全监督技术滞后于行业发展。现场监督以人工巡检和目视检查为主，无法实时监控井下状况。关键参数虽能采集，但缺少智能预警系统，误判、漏判频发。水泥浆顶替等关键过程缺乏可视化手段，井下动态难掌握。远程监督能力弱，多数现场难获后方专家实时指导。数字化监督平台建设滞后，数据分散，无统一集成分析系统。部分小单位用老旧设备，数据靠人工抄写，真实性与时效性存疑<sup>[1]</sup>。

#### 3.3 监督人员素质不一

监督人员的专业素质是决定固井施工安全监督成效的关键因素。固井施工跨多专业，对监督人员知识要求高，但复合型人才培养不足。部分监督人员仅熟悉钻井工艺，对固井技术了解有限，难识别专业风险。老技术人员退休，年轻人员经验不足，风险识别和应急处置能力弱。培训体系不完善，缺乏专门课程和认证制度，培训重理论轻实操。监督岗位流动性大、发展通道不畅，人员流失严重，难以组建稳定的专业监督队伍。

### 4 固井施工全过程安全监督要点

#### 4.1 施工准备阶段监督要点

施工准备阶段的监督应以“设计复核、条件确认”为核心。监督人员应重点核查固井设计的合理性与完整性，包括水泥浆配方是否经过化验复核、注水泥参数计算是否正确、施工泵压是否在地层破裂压力和设备额定压力范围内。设备检查方面，需逐台确认水泥车、混浆撬、供液泵等核心设备的试运行状况，检查高压管线的连接牢固性与试压记录。材料验收应核对水泥及添加剂的品种、数量、保质期及质量检测报告，对受潮结块或过期的材料坚决予以清退。井眼准备情况需确认钻井液性能调整是否到位、井眼净化是否充分、下套管作业是否顺利。人员准备方面，应检查技术交底记录，确认所有作业人员熟悉施工方案和应急预案。监督过程中应使用标准化检查清单，逐项签字确认，形成可追溯的监督记录。对于检查发现的问题，监督人员有权要求停工整改，直至全部条件满足后方可批准开工作业。

#### 4.2 注水泥与顶替阶段监督要点

注水泥与顶替阶段的监督是全过程安全监督的重中之重，应以“参数监控、异常预警”为主线。监督人员应全程值守在操作指挥位置，实时监控水泥浆密度、注水泥排量、泵压等关键参数的变化。水泥浆密度是首要监督指标，密度波动应控制在设计值 $\pm 0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 范围内，发现异常波动应立即要求操作人员调整混浆参数。注水泥连续性是核心监督内容，一旦出现注水泥中断，监督人员应根据中断时间启动相应级别的应急预案。碰压操作是高风险环节，监督人员应仔细甄别真假碰压信号，观察泵压变化特征，防止因假碰压导致套管塞不到位。顶替结束前的欠顶替量计算需由监督人员复核确认。该阶段还应监督高压区域的隔离警戒情况，防止无关人员进入危险区域。监督人员应做好施工参数的实时记录，每间隔一定时间记录一组关键参数，形成完整的施工过程曲线，为后续质量分析和事故追溯提供依据。

#### 4.3 候凝与质量检测阶段监督要点

候凝阶段的监督应以“压力监控、井口管理”为重点。监督人员应建立候凝期间定时巡检制度，每间隔1至2小时检查一次井口压力及环空情况，记录压力变化数据。发现井口压力异常升高时，应立即分析原因并采取泄压措施，防止压力持续升高损坏井口装置。井口密封性检查不可忽视，应观察井口装置有无渗漏、冒气泡等现象。水泥浆失重导致的气窜风险需要通过环空压力监测来间接判断。质量检测阶段的监督重点是检测方案审核和检测过程监控。固井质量测井前，监督人员应审核测井方案，确认测井项目、测井井段满足设计要求。放

射性测井作业应检查放射源使用许可及防护措施。套管试压监督应核实试压压力值及稳压时间,观察压力下降情况,判断是否存在泄漏。监督人员还应对检测数据进行复核,确认固井质量评价结论的可靠性,对不合格井段要求采取补救措施。

## 5 固井施工全过程安全管控模式构建

### 5.1 风险预控为核心的分级管控模式

构建以风险预控为核心的分级管控模式,是提升固井施工安全监督效能的关键路径。该模式按照“风险识别—风险评估—风险分级—分级管控”的逻辑框架运行。首先,建立固井施工全过程风险数据库,系统梳理各工序可能出现的风险事件,形成风险清单。其次,采用风险评估矩阵对各项风险事件的发生概率和后果严重程度进行量化评估,将风险划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四个等级。针对不同等级的风险,制定差异化的管控措施:重大风险需编制专项施工方案并经专家评审,施工期间监督人员全程旁站;较大风险应制定针对性控制措施,监督人员重点巡查;一般风险纳入日常检查范围,低风险保持常规管理。分级管控模式将有限的监督资源集中于高风险环节,避免了“眉毛胡子一把抓”的低效监督。该模式要求建立动态风险更新机制,根据施工条件变化和事故经验反馈,持续完善风险数据库和管控措施<sup>[4]</sup>。

### 5.2 信息化手段支撑的智能监督模式

信息化手段的深度应用是固井施工安全监督模式创新的重要方向。智能监督模式以“数据驱动、实时预警”为特征,通过搭建固井施工数据采集与监控平台,实现对施工全过程关键参数的自动化采集、传输、存储与分析。该平台应接入水泥车、混浆橇等核心设备的数据接口,实时获取水泥浆密度、排量、泵压、累计注入量等参数,形成可视化的施工曲线。基于历史数据和专家知识库,开发异常参数智能识别与预警算法,当参数偏离正常范围或出现异常波动趋势时,系统自动发出分级警报并推送至监督人员终端。远程监督功能支持后方专家通过视频和数据流实时参与现场监督,提供技术指导。施工数据自动生成标准化监督报告,避免人工记录的遗漏和差错。智能监督模式还支持多源数据融合分

析,将固井施工数据与测井数据、试压数据进行关联分析,为固井质量评价和事故分析提供数据支撑。

### 5.3 全员参与的多方协同监督模式

固井施工安全监督不是监督人员单方面的责任,而是需要各方主体共同参与的系统工程。全员参与的多方协同监督模式强调建立“建设单位主导、监督机构主抓、施工方落实、服务方配合”的监督责任体系。建设单位作为工程安全的总负责方,应建立固井施工安全管理制度体系,明确各方安全责任,提供必要的资源保障。监督机构负责制定监督计划、实施现场监督、出具监督报告,对重大风险进行独立评估。施工方是安全责任的直接承担者,应建立内部安全自查机制,配合监督人员开展工作,对监督发现的问题及时整改。服务方(如水泥浆技术服务方、设备租赁方)应对其提供的产品或服务的质量负责,接受监督方的检查。该模式还要求建立信息共享和协调联动机制,通过每日班前会、施工交底会、安全分析会等形式,确保各方信息畅通。建立安全监督结果公示制度,将监督发现的典型问题和整改情况向全体人员通报,形成安全监督的公开透明氛围。

### 结束语

本文剖析了固井施工全过程安全风险特征,明确施工准备、注水泥与顶替、候凝与质量检测三阶段监督要点,指出当前存在制度不完善、手段滞后、人员素质不一等问题。据此提出三种管控模式:以风险预控为核心的分级管控、信息化支撑的智能监督、全员参与的多方协同监督。建议作业单位完善制度、加大信息化投入、加强人员培训、强化考核问责,以系统提升固井施工安全管理水平。

### 参考文献

- [1]霍维维.水泥浆在固井施工安全中的应用[J].西部探矿工程,2022,34(7):26-27,30.
- [2]王博,魏强强,刘海榕.提高石油固井施工质量的技术措施[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(7):19-21.
- [3]孙功华.提高油田固井施工质量的策略探讨[J].石化技术,2025,32(6):324-326.
- [4]钱程.固井施工过程中的常见问题及对策研究[J].石化技术,2025,32(4):98-100.