石油钻修井现场交叉作业风险识别与现场协调管控研究

张贵川

中石化西南石油工程有限公司重庆钻井分公司 重庆 400010

【摘　要】：石油钻修井现场具有工序衔接紧密、作业主体多元、设备运行集中及高风险作业并存等特点，不同工种、机械设备与施工区域在时间和空间上的交叉容易形成风险叠加。针对交叉作业中风险辨识滞后、作业界面划分不清、信息传递不畅及现场协调不足等问题，从人员、设备、环境、工序及管理界面分析风险形成机理，构建动态风险识别机制，并从作业许可、区域隔离、工序衔接、信息共享、人员协同和现场监督等方面完善协调管控措施，强化高风险环节全过程控制，降低交叉干扰引发的事故概率，为钻修井现场安全生产与作业组织优化提供参考。

【关键词】：石油钻修井；交叉作业；风险识别；现场协调；安全管控

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.016

引言

石油钻修井作业涉及钻进、起下钻、固井、修井、设备检维修及物料吊装等多类工序，现场人员、设备和作业活动高度集中。当不同作业在同一区域或相邻时段并行开展时，容易产生空间占用、能量隔离、设备运行和人员操作之间的相互干扰，使单项作业风险演变为交叉叠加风险。传统安全管理偏重单一工序控制，对作业界面变化和动态风险传递关注不足。基于此，有必要系统识别钻修井交叉作业风险来源及耦合关系，研究与风险变化相匹配的现场协调管控方法，提高工序衔接、信息传递和现场安全控制水平。

1 石油钻修井交叉作业风险生成机理

1.1 多工序并行引发作业界面重叠

石油钻修井现场作业链条连续性强，钻进、起下钻、井口维护、设备检修、物料吊装、管柱转运等工序常在同一井场空间内交替推进。受井场面积、设备布置和施工周期影响，人员通行路线、机械回转半径、管具摆放区域与井口操作区域容易发生交叉。不同班组对作业边界、通行时段和设备状态掌握不一致时，原本相对独立的工序会形成空间叠加和操作干扰，增加碰撞、挤压、滑跌、物体打击等风险。

1.2 高危能量交汇放大现场风险

钻修井作业涉及高压流体、提升载荷、旋转部件、电气系统、液压装置及井控设备等多类危险能量。交叉作业状态下，不同能量源并非单独存在，而是伴随设备启动、压力传递、吊装移动和井口操作产生相互影响[1]。带压管线附近开展检维修，吊装作业靠近井口操作平台，电气作业与泥浆循环系统同步运行，均可能使局部风险扩展为系统性风险。一旦能量隔离不到位或警戒区域失效，轻微操作偏差也可能引发连锁事故。

1.3 临时任务插入加剧风险传递

钻修井现场受地层变化、设备异常、井下复杂情况和施工进度调整影响，临时任务插入较为常见。抢修设备、调整钻具组合、补充物料、处理井口异常等任务往往具有时间紧、协调快、交叉面广的特点，容易打乱原有作业顺序和安全布置。临时人员进入现场后，若未及时完成风险告知、作业许可确认和区域隔离调整，既有管控措施会出现空档。风险会沿着人员流动、设备切换和工序变更不断传递，使现场安全状态出现不稳定波动。

2 石油钻修井现场协调管控现实短板

2.1 风险辨识滞后影响预控效果

石油钻修井现场风险辨识仍存在依赖经验判断和静态检查的问题，对作业条件变化、工序临时调整及人员设备交叉状态关注不足。部分风险排查停留在开工前确认阶段，未能随钻进参数变化、井口压力波动、吊装路线调整、检维修介入等情况同步更新。交叉作业形成后，原有危险源清单难以及时覆盖新增风险点，容易出现高处坠物、带压误操作、机械伤害、触电等隐患识别空白[2]。风险辨识滞后还会影响安全交底、作业许可和监护布置的针对性，使预控措施不能提前嵌入关键环节，现场管理由主动防控转向事后纠偏，削弱事故防范的前置作用。

2.2 作业边界模糊削弱管控精度

钻修井现场作业区域受井架、泵房、泥浆罐、管具堆场、吊装通道和车辆通行路线共同影响，空间边界本身较为紧凑。多工种同时进入现场后，若未对井口核心区、吊装影响区、带压设备区、电气检修区和人员通行区进行清晰划分，容易造成不同作业活动相互侵入。作业边界模糊还体现在职责边界不清，施工班组、设备维护人员、吊装人员和安全监护人员对风险控制责任理解不一致，导致警戒设置、能量隔离、人员撤离、工具摆放等措施执行标准不统一。边界控制缺少动态调整时，现场管控难以精准对应实际作业变化，局部风险容易在交叉界面处累积。

2.3 信息传递不畅制约协同效率

石油钻修井交叉作业需要施工指令、安全提示、设备状态、井控参数、许可审批和异常处置信息在多个岗位之间快速传

递。实际管理中，信息传递链条较长，班前会、口头通知、作业票证和现场对讲之间缺少统一衔接，容易出现信息重复、遗漏或理解偏差。设备停启、压力释放、吊装开始、检维修完成等关键节点若未同步告知相关岗位，会影响人员撤离、区域封控和工序切换。部分临时任务依靠现场临场协调，缺少标准化信息确认流程，导致调度人员难以及时掌握全场作业状态。信息传递不畅会延缓风险响应速度，使现场协同从统一指挥转为分散处置，降低交叉作业整体运行效率。

3 石油钻修井交叉作业动态风险识别机制

3.1 构建人员设备环境风险清单

人员、设备、环境风险清单应围绕钻修井现场交叉作业特点进行细化，不能停留在一般性危险源登记层面。人员方面需纳入岗位资质、作业经验、疲劳状态、违章倾向、临时入场人员交底情况等内容，重点识别班组交叉、岗位替换和外协人员进入带来的管理空档。设备方面应覆盖井架、绞车、转盘、泥浆泵、吊装机具、带压管线、电气设施及井控装置运行状态，记录启停条件、维护周期、异常声响、压力波动和安全附件有效性。环境方面需关注井场道路、照明、风速、湿滑地面、管具堆放、逃生通道和警戒区域变化[3]。风险清单应随工序转换、设备移位和作业区域调整同步更新，使风险识别与现场实际保持一致。

3.2 强化作业许可与风险分级管理

作业许可管理应与风险分级控制相结合，将交叉作业纳入重点审批范围。吊装、高处、动火、临时用电、受限空间、带压检维修及井口关键操作等环节，应在作业前完成风险辨识、措施确认、人员签字和监护安排。许可审批不能仅作为手续留痕，而要对作业时段、影响范围、能量隔离、警戒设置、相邻工序和应急条件进行实质审查。风险分级可依据危险能量强度、人员暴露频次、作业复杂程度、异常后果和控制难度划分等级，高风险作业实行升级管理和现场复核。不同等级风险对应不同管控措施，低风险侧重规范执行，中风险加强过程检查，高风险落实专人监护、区域封控和指挥确认，避免许可失效或措施空转。

3.3 完善关键环节动态预警机制

关键环节动态预警应覆盖井口操作、起下钻、管柱转运、设备启停、泥浆循环、带压管线检修和吊装作业等风险集中部位。预警指标可从设备参数、作业行为、环境状态和管理信号中提取，重点关注井口压力异常、泵压变化、吊装摆幅超限、人员进入警戒区、设备带病运行、通道占用和作业票证临期等情况。现场应建立“监测—判定—提示—处置—复核”的闭环流程，发现异常后及时触发声光提示、对讲提醒或调度指令，相关岗位同步停止受影响作业并确认安全条件。预警机制还应与班前交底、巡回检查和应急处置衔接，保证风险信号能够转化为现场动作，减少交叉作业中隐患扩散和事故连锁反应。

4 石油钻修井交叉作业现场协同管控路径

4.1 优化工序衔接与作业时序安排

石油钻修井交叉作业的时序安排应围绕井口核心作业、设备运行状态和高危工序影响范围进行统筹。钻进、起下钻、泥浆循环、管柱转运、吊装作业、设备检维修等环节不能单纯按照进度要求并行推进，需要依据工序依赖关系划分可同步作业、限制同步作业和禁止同步作业的范围。井口操作期间，应减少无关人员进入核心区域，管具吊运与人员通行应错峰组织，检维修任务应避开设备连续运行和压力变化明显的时段。涉及高压管线、井控装置、泥浆泵组和电气设施的作业，应在能量隔离、压力释放和设备停稳后安排衔接。作业计划调整时，同步修订班组任务、区域占用和监护配置，使现场工序转换保持清晰节奏，降低因抢进度、赶工期造成的交叉干扰。

4.2 落实区域隔离与安全监护措施

区域隔离应根据钻修井现场风险等级和作业影响半径进行动态设置，重点覆盖井口平台、吊装回转区、管具堆放区、泥浆泵房、带压管线区、电气检修区和车辆通道[4]。隔离措施不能停留在警戒带和提示牌布置层面，还应明确人员准入条件、通行方向、停留位置和撤离路线。吊装作业时，应控制吊臂回转范围和重物运行路线，禁止无关人员穿越吊物下方及回转半径；带压设备检维修时，应完成泄压、盲板隔断、挂牌上锁和现场复核。安全监护人员应掌握当班作业内容、风险控制点和应急处置要求，对人员越界、工具散放、设备异常、指令不清等情况及时干预。监护过程应覆盖作业准备、实施、暂停、恢复和结束各阶段，避免隔离措施因工序变化而失效。

4.3 健全多岗位联动协调机制

多岗位联动协调应以统一指挥、清晰分工和实时反馈为核心，将司钻、井架工、泥浆工、吊装人员、设备维修人员、电气人员、安全监护人员和现场调度纳入同一协同链条。班前协调会应明确当班重点工序、交叉区域、风险控制要求和异常处置权限，避免各专业仅掌握本岗位任务而忽视相邻作业影响。作业过程中，关键节点需执行口令确认和双向反馈，设备启停、吊装开始、压力释放、区域解除、检维修完成等信息应同步传递至相关岗位。出现井口异常、设备故障、人员误入、天气突变或工序变更时，应由现场负责人统一调整作业顺序，相关岗位按照预案暂停、撤离、隔离或复核。联动机制还应形成记录闭环，将交叉作业中的协调问题、处置结果和责任接口纳入复盘改进，提升现场组织的连续性和响应效率。

5 石油钻修井交叉作业管控实践与智能化提升

5.1 典型井场交叉作业管控应用

典型井场交叉作业管控应以钻修井全过程组织为基础，将

井口操作、管具转运、吊装配合、设备检维修和泥浆循环等活动纳入统一调度。现场实施中，可围绕当班作业计划绘制作业区域分布图，明确井口核心区、吊装影响区、设备运行区、车辆通道和人员待命区，避免不同工种无序进入同一空间。起下钻与管具吊运交替进行时，应对司钻指令、吊装信号、地面扶正和人员撤离进行同步确认；设备检维修介入时，应完成停机、断电、泄压、挂牌和复核后再安排人员作业。现场负责人根据作业进度调整班组站位、材料摆放和机械运行路线，使交叉作业从临时协调转向计划化控制。

5.2 风险管控措施实施效果分析

风险管控措施实施效果主要体现在作业秩序、隐患消除、岗位协同和异常响应等方面。通过动态风险识别、作业许可审查、区域隔离、专人监护和多岗位联动，井场交叉作业中的人员误入、通道占用、设备误启动、吊装干扰和指令不一致等问题能够得到有效压缩[5]。高风险工序在实施前完成能量隔离和安全条件确认，可减少带压、带电、带载状态下的误操作。班前交底与过程巡查结合后，现场人员对相邻工序的风险感知更加清晰，作业转换期间的等待、返工和重复沟通减少。

5.3 数字化技术赋能现场安全管理

数字化技术可为石油钻修井交叉作业提供更加连续的现场感知和管控支撑。井场可利用视频监控、人员定位、电子作业票、设备状态采集和风险预警平台，实时掌握人员分布、设备启停、区域占用和高危作业进展。人员进入吊装回转半径、井口核心区域或带压设备附近时，系统可触发提醒并推送至现场调度和安全监护岗位；电子作业票能够记录许可审批、风险告知、措施确认和作业关闭过程，减少纸质流转造成的信息滞后。设备运行参数与现场视频联动后，泵压异常、井口压力变化、机械故障信号可及时关联具体作业场景。数据沉淀还可用于复盘高频隐患和交叉冲突规律，为作业计划优化、风险分级调整和现场资源配置提供依据。

6 结语

石油钻修井现场交叉作业风险来源复杂，人员、设备、环境与工序变化相互叠加，容易形成动态传递和连锁放大。安全管控需要从风险生成机理出发，完善风险清单、作业许可、分级管理、区域隔离、现场监护和岗位联动机制，使风险识别贯穿作业准备、实施、调整和收尾全过程。结合典型井场实践，协同管控能够减少作业冲突、压缩隐患空间、提升异常响应效率。后续应加强数字化监测、电子票证、人员定位和数据复盘应用，推动钻修井现场安全管理向精准化、实时化和智能化方向发展。

参考文献：

[1] 黄亮,徐晓磊,周洪军,等.基于先进传感技术的石油钻修井机械设备智能监测与优化[J].今日制造与升级,2024,(4):63-65.

[2] 赵玉川.石油钻修井作业过程中的主要危害及其预防措施研究[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(20):29-31.

[3] 范瑞伯.腐蚀性环境下石油钻修井机井架强度可靠性分析模型[J].能源与环保,2023,45(3):99-104.

[4] 吴小亮,赵天增.海洋石油钻井作业中钻修井机械设备发展分析[J].石化技术,2022,29(10):178-181.

[5] 袁征,吴小龙,张海洋,等.浅谈海洋钻修井装置作业前检验存在的问题及对策[J].海洋开发与管理,2021,38(11):73-75.