浅谈石油工程施工时涉及的井下作业修井技术

张永亮

中原油田分公司采油气工程服务中心 河南 濮阳 457001

摘要：本文探讨了石油工程井下作业修井技术的重要性及其应用。修井技术对于确保油水井持续、稳定、高效生产具有重要意义。文章概述了修井技术的基本原则，包括完整性、安全和环保原则，并介绍了常用的打捞工具、补接工具与设备及侧钻设备。具体应用方面，讨论了井下落物打捞技术、压裂工艺、试油测试工艺及井控管理与安全措施。另外，还探讨了修井技术的优化与发展趋势，包括技术创新、工艺操作优化及环保高效修井技术的发展。

关键词：石油工程；井下作业；修井技术；油井维护

1 石油工程井下作业修井技术概述

石油工程井下作业修井技术是石油开采过程中至关重要的环节，它主要针对油水井在生产过程中出现的各种故障和问题进行修复与维护，以确保油水井能够持续、稳定、高效地生产。随着石油工业的不断发展，油水井在长期运行过程中会面临诸多挑战，如井下落物、油管损坏、油层堵塞、井壁坍塌等，这些问题严重影响石油的开采效率和产量。修井技术的应用能够及时有效地解决这些问题，恢复油水井的正常生产功能。从技术范畴来看，石油工程井下作业修井技术涵盖了众多专业领域和技术手段，包括机械工程、流体力学、地质学、材料科学等多学科知识的综合运用。它通过运用各种专业工具和设备，采用不同的工艺方法，对油水井的井下部件、油层以及井筒环境进行检测、修复、改造和优化^[1]。例如，利用先进的探测技术对井下故障进行精确定位，运用合适的打捞工具清除井下落物，采用压裂工艺改善油层渗透性等。修井技术的发展水平直接关系到石油工程的经济效益和资源开采效率，对于保障国家能源安全、推动石油工业可持续发展具有重要意义。

2 石油工程修井作业的基本原则

2.1 完整性原则

在修井过程中，必须确保油水井井下系统的完整性，包括油管、套管、井下工具以及油层等各个组成部分。修井作业不能对原有井下结构造成不必要的破坏，应尽可能保持其原始状态和功能。例如，在进行井下落物打捞作业时，要选择合适的打捞工具和方法，避免在打捞过程中对油管、套管造成刮伤、变形等损坏，防止因操作不当导致井下事故的扩大化。同时，完整性原则还体现在对油层的保护上。在实施修井工艺，如压裂、酸化等增产措施时，要充分考虑油层的特性和敏感性，合理控制施工参数，防止对油层造成污染和伤害，确保

油层的渗透率和产能不受影响。通过遵循完整性原则，能够有效降低修井作业对油水井长期生产性能的负面影响，延长油水井的使用寿命，提高石油资源的采收率^[2]。

2.2 安全原则

安全原则是石油工程修井作业的首要原则，贯穿于整个修井过程的始终。由于修井作业环境复杂，井下情况多变，存在着诸多安全风险，如井喷、硫化氢中毒、机械伤害等。因此，必须严格遵守相关安全操作规程和标准，制定完善的安全预案，采取有效的安全防护措施，确保作业人员的生命安全和设备的安全运行。在作业前，要对作业现场进行全面的安全检查和风险评估，对可能存在的安全隐患进行排查和整改。为作业人员配备必要的个人防护装备，如安全帽、防护手套、防毒面具等，并对其进行安全培训和教育，使其掌握正确的操作方法和应急处理技能。在作业过程中，要加强现场安全管理，设置明显的安全警示标识，严格控制火源、电源等危险因素，实时监测井下压力、气体浓度等参数，一旦发现异常情况，立即采取相应的应急措施，防止事故的发生。

2.3 环保原则

修井作业过程中会产生大量的废弃物，如油污、泥浆、废水等，如果处理不当，将会对周边环境造成严重的污染。因此，在修井作业中，必须采取有效的环保措施，减少废弃物的产生，对产生的废弃物进行妥善处理，实现清洁生产。在施工过程中，采用环保型的修井液和化学药剂，减少对土壤和水体的污染。对作业过程中产生的油污、泥浆等废弃物进行集中收集和回收处理，通过物理、化学和生物等方法对其进行净化和回收利用，降低废弃物的排放，加强对作业现场的环境管理，防止废弃物的泄漏和扩散，保护周边生态环境。遵循环保原则不仅是企业履行社会责任的体现，也是实现石油工程

可持续发展的必然要求。

3 井下作业修井技术的常用工具与设备

3.1 打捞工具

打捞工具是井下作业修井技术中用于清除井下落物的重要工具，井下落物种类繁多，如油管、抽油杆、泵筒、工具碎片等，不同类型的落物需要采用不同的打捞工具进行处理。常见的打捞工具包括公锥、母锥、打捞筒、打捞矛等。公锥和母锥是通过与落物的内孔或外表面进行造扣连接，从而实现对接落物的打捞。公锥适用于打捞具有内孔的落物，如油管、钻杆等，通过将公锥下入落物内孔，旋转造扣后上提，将落物捞出；母锥则用于打捞具有外表面的落物，其工作原理与公锥类似。打捞筒是一种利用筒体与落物之间的过盈配合或卡瓦的收缩夹紧作用来打捞落物的工具，适用于打捞较小尺寸的落物，如工具碎片、螺栓等。打捞矛则主要用于打捞油管、套管等管状落物，它通过卡瓦的涨开与收缩，实现对落物的抓取和释放^[3]。

3.2 补接工具与设备

当油管、套管出现损坏时，需要使用补接工具与设备对其进行修复。补接工具主要有套管补接器、油管补接器等。套管补接器用于修复损坏的套管，它通过将补接器下入井内，与损坏套管的上下两端进行对接，然后通过胀开或焊接等方式实现牢固连接，恢复套管的完整性和密封性。油管补接器的工作原理与套管补接器类似，主要用于修复损坏的油管。在实际应用中，根据油管的规格和损坏情况，选择合适的油管补接器进行作业。除了补接器本身，还需要配套的设备，如液压力系统，为补接器的操作提供动力；井口提升设备，用于将补接工具下入井内和提出井口等。这些补接工具与设备的合理应用，能够有效延长油管、套管的使用寿命，保障油水井的正常生产。

3.3 侧钻设备

侧钻设备是在油水井无法通过常规修井方法恢复生产时，用于改变井眼轨迹，重新开辟油流通道的重要设备。侧钻技术主要包括套管开窗侧钻和裸眼侧钻两种方式，相应的侧钻设备也有所不同。套管开窗侧钻设备主要包括开窗工具、导向工具、钻具组合等。开窗工具用于在套管上开出一个窗口，使钻头能够从窗口穿出，进入新的地层；导向工具则用于控制钻头的钻进方向，确保侧钻井眼按照预定的轨迹延伸；钻具组合根据不同的地层条件和侧钻要求进行合理配置，包括钻头、钻铤、钻杆等。裸眼侧钻设备相对简单，主要是在裸眼井段进行侧钻作业，不需要进行套管开窗，但同样需要精确的导向和

钻进控制设备。侧钻设备的不断发展和创新，为复杂油水井的修复和油藏的高效开发提供有力的技术支持。

4 石油工程井下作业修井技术的具体应用

4.1 井下落物打捞技术

井下落物打捞技术是石油工程井下作业修井技术中最常见的应用之一，如前文所述，井下落物会严重影响油水井的正常生产，甚至导致油水井停产。在进行打捞作业前，首先要通过测井仪器等手段对井下落物的类型、形状、位置等进行准确判断，然后根据落物情况选择合适的打捞工具和方法。对于形状规则、尺寸较小的落物，如螺栓、工具碎片等，可采用打捞筒进行打捞；对于管状落物，如油管、抽油杆等，则可选用公锥、母锥或打捞矛等工具。在打捞过程中，要严格控制操作参数，如打捞工具的下入速度、旋转扭矩、上提拉力等，避免因操作不当导致落物进一步损坏或卡钻等事故的发生。同时，随着技术的不断发展，一些新型的打捞技术和工具也不断涌现，如磁力打捞器、液压式打捞工具等，这些新技术和工具的应用提高了打捞效率和成功率。

4.2 压裂工艺在修井中的应用

压裂工艺是通过向油层注入高压流体，使油层岩石破裂，形成裂缝，从而改善油层的渗透性，提高油水井的产量。在修井作业中，压裂工艺主要应用于油层堵塞、产能下降等情况。在实施压裂工艺前，需要对油层的地质条件、岩石力学性质、流体性质等进行详细的分析和评估，确定合理的压裂方案，包括压裂液的类型、用量、泵注压力、泵注排量等参数。压裂液是压裂工艺的关键因素之一，它需要具有良好的造缝能力、携砂能力和低滤失性等性能。常用的压裂液有水基压裂液、油基压裂液、泡沫压裂液等^[4]。在压裂过程中，将压裂液与支撑剂混合后注入油层，压裂液在高压下使油层破裂形成裂缝，支撑剂则留在裂缝中，防止裂缝闭合，从而形成长期有效的油流通道。压裂工艺的合理应用能够显著提高油水井的产能，延长油水井的生产周期。

4.3 试油测试工艺

试油测试工艺是在修井作业完成后，对油水井的生产能力和油层特性进行测试和评价的重要手段。通过试油测试，可以获取油水井的产量、压力、流体性质等关键数据，为后续的生产管理和油藏开发提供依据。试油测试工艺主要包括常规试油、地层测试、生产测试等。常规试油是通过对油水井进行抽汲、气举等方式，将地层流体举升到地面，测量其产量、压力等参数；地层测试则是利用专门的测试工具，在井下对油层进行关井压力恢复测试、开井流动测试等，获取油层的渗透率、孔

隙度、流体饱和度等参数；生产测试主要是在油水井正常生产过程中，对其产量、压力、含水率等参数进行实时监测和分析。随着测试技术的不断发展，一些先进的测试设备和方法，如电子压力计、光纤传感技术等，被广泛应用于试油测试工艺中，提高了测试数据的准确性和可靠性。

4.4 井控管理与安全措施

在修井作业过程中，由于井下压力的变化、地层流体的流动等因素，存在着井喷等安全风险。井控管理包括井控设备的配置与维护、井控操作规范的制定与执行、井控培训与应急演练等方面。井控设备主要包括防喷器、节流管汇、压井管汇等，这些设备能够在发生井喷等紧急情况时，及时关闭井口，控制井口压力，防止事故的扩大。在作业过程中，作业人员必须严格按照井控操作规范进行操作，实时监测井下压力变化，一旦发现异常情况，立即采取相应的井控措施，如关井、节流、压井等。同时，要定期对作业人员进行井控培训和应急演练，提高其井控意识和应急处理能力，确保在突发情况下能够迅速、有效地进行应对，保障作业安全。

5 石油工程井下作业修井技术的优化与发展趋势

5.1 技术创新与设备升级

随着科技的不断进步，石油工程井下作业修井技术也在不断进行技术创新与设备升级。在技术方面，新型的探测技术、智能控制技术、纳米技术等逐渐应用于修井领域。例如，利用先进的井下成像技术，能够更加清晰、准确地获取井下故障信息，为修井作业提供更详细的依据；智能控制技术可以实现修井设备的自动化操作和远程控制，提高作业效率和安全性。在设备方面，研发和应用更加高效、可靠、智能化的修井工具和设备是未来的发展趋势。如新型的打捞工具将具有更强的抓取能力和适应性，能够处理更复杂的井下落物情况；智能化的压裂设备可以根据油层的实时变化自动调整施工参数，提高压裂效果。此外，设备的材质和制造工艺也将不断改进，提高设备的耐磨性、耐腐蚀性和使用寿命，降低设备的维护成本^[5]。

5.2 工艺操作与工具设备的优化配置

通过对修井工艺流程的分析和优化，减少不必要的

环节，提高作业效率。例如，采用一体化的修井工艺，将多个修井工序进行整合，实现连续作业，缩短修井周期。在工具设备配置方面，根据不同的修井作业需求，合理选择和组合工具设备，实现资源的优化利用。建立工具设备的数据库和管理系统，对工具设备的使用情况、性能参数等进行实时监控和管理，及时对工具设备进行维护和更新，确保其处于良好的工作状态。

5.3 环保与高效修井技术的发展

在环保方面，研发和应用更加环保的修井液、化学药剂和废弃物处理技术，减少修井作业对环境的污染。例如，开发可生物降解的修井液，降低其对土壤和水体的危害；采用先进的废弃物处理技术，实现油污、泥浆等废弃物的无害化处理和资源化利用。不断提高修井技术的作业效率和成功率，缩短修井时间，减少油水井的停产损失。通过应用先进的监测技术和数据分析方法，实现对修井作业过程的实时监控和优化调整，提高作业的精准性和可靠性。

结束语

综上所述，石油工程井下作业修井技术是保障石油资源高效开采的关键环节。随着技术的不断创新和发展，修井作业将更加智能化、高效化和环保化。未来，应继续加强技术研发与应用，优化工艺流程与设备配置，提高修井作业的安全性和环保性，为推动石油工业的可持续发展贡献更大力量。

参考文献

- [1]张凤冬.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化[J].化学工程与装备,2023,(05):78-79+77.
- [2]何兵.石油工程井下作业修井技术现状及工艺优化[J].化工管理,2022,(29):55-57.
- [3]如则尼亚孜·伊敏江.针对石油工程井下作业修井技术与工艺的分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(17):193-195.
- [4]刘士民.井下修井作业修井技术的优化[J].石油知识,2024,(04):16-17.
- [5]张武都,陈静.油田井下修井技术作业管理[J].化工管理,2023,(35):165-168.