

油气生产电气设备智能化前瞻

黄超群

中海石油（中国）有限公司天津分公司辽东作业公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i3.8785

[摘要] 在世界能源格局经历深刻调整与行业数字化革新的宏观背景下，油气生产领域正快步迈向智能化与高效化的高质量发展新阶段。电气设备作为油气生产全产业链的关键硬件基础，其智能技术的应用水准直接关乎生产效率、安全系数及经济效益。本文立足于电气工程自动化核心技术，结合油气田现场实际运行环境与行业前沿趋势，深度剖析油气生产电气设备智能化的发展现状、技术支撑体系及现存瓶颈，并对未来走向进行前瞻性预测。结合工程实例论证智能化技术的落地价值，旨在为油气行业电气设备的升级改造、技术研发及工程实践提供理论参考与实践范式，助推油气产业实现绿色低碳转型。

[关键词] 油气生产；电气设备；数智化转型；电气工程自动化；技术展望

Intelligentization of Electrical Equipment in Oil and Gas Production: A Forward-looking Analysis

Huang Chaoqun

Tianjin Branch of China National Offshore Oil Corporation (China) Limited, Liaodong Operation Company.

[Abstract] Against the backdrop of profound adjustments in the global energy landscape and digital innovation across industries, the oil and gas production sector is rapidly advancing into a new phase of high-quality development characterized by intelligence and efficiency. As critical hardware infrastructure throughout the entire oil and gas production chain, the application level of intelligent technologies in electrical equipment directly impacts production efficiency, safety factors, and economic benefits. This paper focuses on core technologies in electrical engineering automation, integrating practical operational environments in oil and gas fields with cutting-edge industry trends to conduct an in-depth analysis of the current status, technical support systems, and existing bottlenecks in the intelligentization of electrical equipment for oil and gas production. It also provides forward-looking predictions for future developments. Through engineering case studies, the paper demonstrates the practical value of intelligent technologies, aiming to offer theoretical references and practical paradigms for the upgrading and transformation of electrical equipment, technological research and development, and engineering practices in the oil and gas industry, thereby facilitating the green and low-carbon transition of the sector.

[Key words] oil and gas production; electrical equipment; digital and intelligent transformation; electrical engineering automation; technology outlook

引言

当前，随着电气工程自动化、人工智能、物联网及大数据技术的深度交叉融合，油气生产正逐步告别传统粗放型管理模式，向数字化、智能化转型已成为产业高质量发展的核心驱动力。由于油气生产环境复杂、工况恶劣，普遍存在高温、高压、高含硫等极端条件，这对电气设备的运行稳定性与可靠性提出

了极高要求。传统依赖人工操作与维护的设备管理模式，已无法适配现代油气生产高效、安全、节能的多重需求。

目前，中原油田、普光气田等国内主力油气田已全面推进电气设备智能化改造。通过智能监测、无人值守、智能调度等技术的落地应用，生产效率显著提升、运维成本大幅下降、生产安全得到有效保障，充分验证了智能化转型的可行性与实际

价值。基于此，本文围绕油气生产电气设备的智能化发展展开深入分析，梳理智能化发展的现状与核心技术壁垒，展望未来发展趋势，为推动电气工程自动化技术与油气生产深度融合提供思路借鉴。

一、油气生产电气设备智能化发展现状

现阶段，我国油气生产电气设备的智能化建设已取得阶段性突破，整体呈现“试点突破、逐步推广”的发展格局。智能技术已渗透到油气生产的各个环节，技术积累与实践经验日益丰富，但区域发展仍不均衡，不同油气田及作业区域的智能化水平存在显著差距。

在核心设备智能化层面，智能变频器、智能控制器、智能传感器等设备已在生产现场广泛普及，具备了实时参数监测、远程调控及故障预警等功能。以中国海油为例，其升级改造的智能采油监测系统，依托海量数据采集与分析为决策提供支持，电潜泵智能监测系统的预警准确率高达90%。该系统通过深度神经网络算法构建智能监测网络，实现24小时不间断监控，能够提前发出异常警报，构建起全链条风险管控体系，有效提升了海上油田开发效率与安全生产水平。

在智能化运维维度，部分油气田引入AI视觉识别系统、5G巡检机器人等前沿设备，替代传统人工巡检模式。普光气田的5G巡检机器人已完成超500次巡检任务，使作业人员劳动强度降低30%，巡检精度达到99%，成功破解了高含硫环境下巡检难的行业痛点。

尽管油气田电气设备智能化成效显著，但仍面临共性难题。部分偏远井区及老旧作业点的电气设备尚未完成智能化迭代，不仅依赖人工操作导致运维效率低下，且无法与整体智能管控系统高效协同，这一现实瓶颈亟待突破，为油气生产智能化的全面推进扫清障碍。

二、油气生产电气设备智能化的核心技术支撑

2.1 电气工程自动化核心技术

电气工程自动化技术是油气生产电气设备智能化的基石，主要涵盖变频控制、PLC控制及嵌入式技术等核心模块。变频控制技术可依据工况变化自动调节电气设备运行参数，实现节能降耗与精准调控，例如智能变频器在潜油电泵、输油泵中的应用，能根据负载波动动态调整转速，显著降低能耗；PLC控制技术实现了设备的程序化操作，配合触摸屏界面可完成参数设置、状态监测与调控，提升了设备运行的稳定性与可靠性；嵌入式技术则为智能设备的小型化、集成化提供了技术支撑，实现了数据采集、处理与传输的一体化。

2.2 人工智能与大数据技术

人工智能与大数据技术的融入，是电气设备智能化升级的

核心引擎。大数据技术能够对设备运行过程中产生的海量数据进行采集、存储与分析，挖掘运行规律，预测故障隐患，为运维决策提供数据支持。中原油田文留采油厂部署的1336路摄像头与4000余台关键设备，每日产生42.1TB监控数据，视频风险智能识别系统可在数分钟内锁定泄漏、火情等风险，大幅提升了安全管控能力。人工智能技术则实现了设备故障的智能诊断与无人值守运维，如抽油机功图故障诊断系统可提前预警7大关键部位异常，形成闭环管理链条，显著提升运维效率。

2.3 物联网与5G通信技术

中国海油已构建全域数智化采集体系，配备超1.8万套数据采集设备实现实时传输，累计汇聚超3亿条结构化数据与350亿条实时数据，为生产决策提供强大数据赋能。其自主研发的“海经”系统（我国首套拖缆模式地震勘探成套装备），具备2赫兹超低频信号采集能力，数据解析精度超95%。依托该系统已完成4个工区总计3935平方千米海域的三维地震勘探，勘探效率提升30%以上，年节约勘探成本超4000万元，推动海洋油气勘探向高效、低成本、自主化方向转型。

5G通信技术有效解决了油气田偏远区域信号不稳定的问题，实现了高速率、低延迟的数据传输，为无人巡检机器人、远程操控设备的稳定运行提供通信保障，加速了油气生产电气设备的无人化与远程运维进程。

三、油气生产电气设备智能化发展面临的瓶颈

3.1 技术适配性不足

油气生产现场工况复杂，高温、高压、高湿度、强腐蚀等环境对智能化电气设备性能提出严苛要求。当前部分智能化技术与实际工况适配性不足，导致设备运行稳定性差、故障率高。例如，部分电气传感器在高含硫环境中易被腐蚀，造成数据采集失真；部分智能化系统在复杂工况下易出现信号中断、调控失灵等问题，影响生产连续性。此外，不同厂家设备的接口、通信协议不统一，导致设备间无法无缝对接，制约了智能化系统的集成效率。

3.2 研发与应用成本较高

电气设备智能化升级需投入大量研发资金与改造成本，包括设备采购、系统搭建、技术研发等环节。受资金限制，部分中小型油气田智能化改造进程缓慢。同时，智能化设备运维需专业复合型人才，具备电气工程自动化、人工智能、大数据等多领域知识，而当前行业此类人才储备不足，运维人员专业能力欠缺，难以实现设备的高效运维，影响技术应用效果。

3.3 数据安全与标准缺失

智能化设备运行产生大量生产与设备数据，涉及油气生产核心机密，数据安全隐患突出。部分油气田缺乏完善的数据安

全防护体系，易发生数据泄露、篡改等风险，威胁生产安全。此外，我国油气生产电气设备智能化缺乏统一的行业标准与技术规范，不同厂家设备在技术参数、接口规格、通信协议等方面存在差异，导致设备兼容性与互换性不足，制约了智能化技术的规模化应用与行业协同发展。

四、油气生产电气设备智能化未来发展前瞻

4.1 智能化水平向深度化、集成化发展

未来，油气生产电气设备智能化将从“单点智能”向“系统智能”转型，实现设备、系统、人员的深度融合。一方面，智能设备将具备更强自主决策能力，通过深度应用人工智能技术，实现故障的自主诊断、修复与调控，减少人工干预；另一方面，将构建一体化智能管控平台，整合钻井、采油、集输等全环节设备数据，实现全流程智能调度与协同运行，打破“数据壁垒”，推动决策从模糊判断向精准调控转变。

4.2 绿色节能智能化成为重要方向

在“双碳”目标引领下，绿色节能将成为油气生产电气设备智能化的重要导向。通过智能化技术优化设备运行参数，提升能耗利用率；推动智能化设备与新能源深度融合，如原油田升级改造新能源电力接入系统，实现新能源的全景监测、精准预测与智能调控，推动油气生产向绿色化转型，实现经济效益与环保效益双赢。

4.3 技术创新与标准体系逐步完善

未来将加大核心技术研发投入，重点突破高适配性智能传感器、抗恶劣环境设备、数据安全防护等关键技术，提升技术与工况的适配性。同时，行业将逐步完善智能化标准体系，明确设备参数、接口、通信协议、数据安全等标准，推动设备兼容互通，加速规模化应用。此外，将加强复合型人才培养，完善人才培养体系，为智能化发展提供人才支撑。

4.4 无人化运维成为主流模式

随着5G、人工智能、机器人技术的持续发展，无人化运维将成为主流模式。未来将全面推广巡检机器人、智能运维机器人的应用，实现全天候、全方位巡检，降低人工巡检成本，提升巡检效率与精度；同时，构建远程运维平台，实现设备状态的远程监测、故障诊断与修复，推动运维模式从“被动维修”向“主动预警、预测性维护”转变。

五、实例分析

中国海油在智慧海洋油气田建设中，聚焦电气设备智能化升级开展技术攻关，构建以“算力、数据、模型”为核心的智能化体系，升级改造海上电力接入系统，打造海洋电网“智慧大脑”，实现新能源全景监测、精准预测与智能调控的有机统一。同时，引入AI视觉识别系统、5G防爆巡检机器人等设备，

替代人工巡检，大幅提升安全管控与运维效率，推动海上油气开发从“人力密集”向“数据驱动”转型。

为深化智能化建设成效，中国海油完善技术应用场景，将智能管控体系延伸至全流程，结合边缘计算与5G专网融合部署，实现现场数据的实时采集、分析与远程调控，推动运维模式从“被动抢修”向“主动预警”转变，筑牢海上油气生产安全防线。

目前，该海洋油气田多个作业区块已完成电气设备智能化落地，改造成效显著：年均减少设备非计划停机时间15%以上，电力系统综合能耗降低18%，运维人力成本缩减20%，故障响应时间缩短至分钟级，AI预警准确率突破90%，切实实现降本、增效、保安全的目标，为海洋能源新质生产力培育提供有力支撑。验证了电气设备智能化升级的可行性与应用价值，为国内油气田智能化发展提供实践借鉴。

六、结论

油气生产电气设备智能化是油气行业数字化转型、高质量发展的必然趋势，也是电气工程自动化技术在能源领域深度应用的重要体现。当前，智能化建设已取得阶段性成果，核心技术不断突破，应用场景持续拓展，但仍面临技术适配性不足、研发成本高、数据安全与标准缺失等瓶颈。

未来，随着电气工程自动化、人工智能、物联网等技术的不断迭代升级，油气生产电气设备智能化将向深度化、集成化、绿色化、无人化方向发展。通过技术创新、标准完善、人才培养等举措，破解发展瓶颈，提升智能化水平，推动油气生产实现高效、安全、节能、绿色发展，为国家能源安全提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]黄涵. AI+能源：油气田设备智能化转型路径探析[J]. 电气技术, 2026, (02): 68-72.
- [2]李军, 张敏. 油气生产电气设备智能化改造实践与思考[J]. 石油化工自动化, 2025, 61(04): 7-11.
- [3]董雪. 基于远程通信的油田电气设备和供电线路的能效优化[J]. 中国设备工程, 2021, (06): 102-103.
- [4]王浩, 刘芳. 5G+物联网在油气电气设备智能运维中的应用[J]. 油气田地面工程, 2024, 43(08): 98-102.
- [5]梅业伟, 刘学敏. 油田地面工程电气设计要点的国内外标准分析[J]. 电气技术, 2026, (02): 73-78.
- [6]张磊, 王丽. 人工智能在油气电气设备故障诊断中的应用研究[J]. 化工管理, 2023, (15): 134-135.
- [7]中原油田. 数智重塑能源未来：智慧油气田从单点突破到系统革新[N]. 中国石化报, 2026-03-03(02).