油田新能源配电环境微电网集群智能协控系统应用

王　建[1]，李晓庆[2]，任　炜[3]，王德涛[1]，迟恩先[1]

（1. 山东华天电气有限公司，山东 济南 250101；2.山东电力工程咨询院有限公司，山东 济南 250013；
3. 国网山东省电力公司物资公司，山东 济南 250001）

摘要：针对采油区高比例新能源接入带来的消纳不均衡问题，结合油田井区用电负荷的特点，采用微电网集群智能协控系统，根据潮流分析将不同微电网组群，通过微电网群协控装置解决在新能源能量转换和利用的过程中供求之间、时间和空间上不匹配的矛盾。实现微电网群内能量平衡、群间能量互济，提升系统安全性和经济性。

关键词：新能源；抽油机；微电网；储能和变压器

Application of micro-network cluster intelligent co-control system in oilfield new energy distribution environment

WANG Jian[1], LI Xiaoqing[2], REN Wei[2], WANG Detao[1], CHI Enxian[1]

(1. Shandong Hoteam Technologies Co.,Ltd., Jinan 250101, China; 2.Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co.,Ltd., Jinan 250013, China; 3. State Grid Shandong Electric Power Company supplies company, Jinan 250001, China)

Abstract: In view of the imbalance problem caused by the high proportion of new energy access in oil production area, combined with the characteristics of the electric load in oil field well area, this paper adopts the micro-network cluster intelligent co-control system, and according to the power flow analysis, groups different micro-networks, in the process of energy conversion and utilization of new energy, the contradiction between supply and demand, time and space is solved by micro-grid group co-control device. To realize the balance of energy in the micro-network group, mutual benefit of energy between groups, improve the security and economy of the system.

Key words: new energy; pumping unit; micronet energy; storage and transformers

0　引言

近年来，随着能源结构低碳化、系统多元化和产业智能化快速发展，大力推进高比例容纳分布式新能源电力的智能配电网建设，鼓励建设“源网荷储”一体化、多能互补的智慧能源系统和微电网等相关政策频繁出台。为油田加快新能源产业发展、构建智慧能源管控系统及推进油气清洁高效开发利用提供了有力的方向指引和政策环境。油田规划“十四五”可再生能源电量占比突破40%，碳排放总量下降25%、强度下降30%。在此大背景下，油田利用大规模的“源网荷储”资源，加快构建“源网荷储”一体化智慧能源系统，大力推进新能源产业发展，能源结构持续优化，主动适应能源转型和产业变革，最大

化降低综合用能成本。以油气井生产为典型应用场景，具有数量多、分布广、可提供柔性负荷和就地开发利用分布式新能源电力等特点，在“源网荷储”一体化智慧能源系统中占据了重要的地位。油田拥有大规模优质的“源网荷储”资源，具备建设微电网集群智能协控系统的先天优势。可针对不同新能源场站规模，分层分区域配置不同型式的储能。通过构建多尺度储能协调体系，部署电化学储能、氢燃料电池和空气压缩储能等多种形态储能设备，根据不同运行态势执行对应策略，完成空间、时间多尺度储能控制。

1 微电网集群智能协控系统

微电网集群智能协控系统根据分布式光伏场站数量多、分布广和结构复杂等特点，基于能源路由器和分布式储能系统部署友好型多能微电网、微电网集群和区域协控系统。系统框架如图1所示，实现了横向分区平衡、纵向分层贯通。最小单元以就地平衡为原则，实现绿电就地消纳；同时在上级层面上实现跨微电网、跨集群的互联互通。单区域内以新能源为主体，“源网荷储”高效协同，具有一定自平衡能力和自持能力；区域间通过联络线路与相邻系统联系，形成一个相对稳定的区域电力系统。各层级之间按照预定平衡、协同策略，实现相互支撑。

微电网群内所有设备如图2所示，抽象为光（发）、储、荷，建立数学模型，并进行潮流仿真分析，优化算法逻辑，实现群内功率平衡和能量平衡，降低互济损耗，提升微电网群总体经

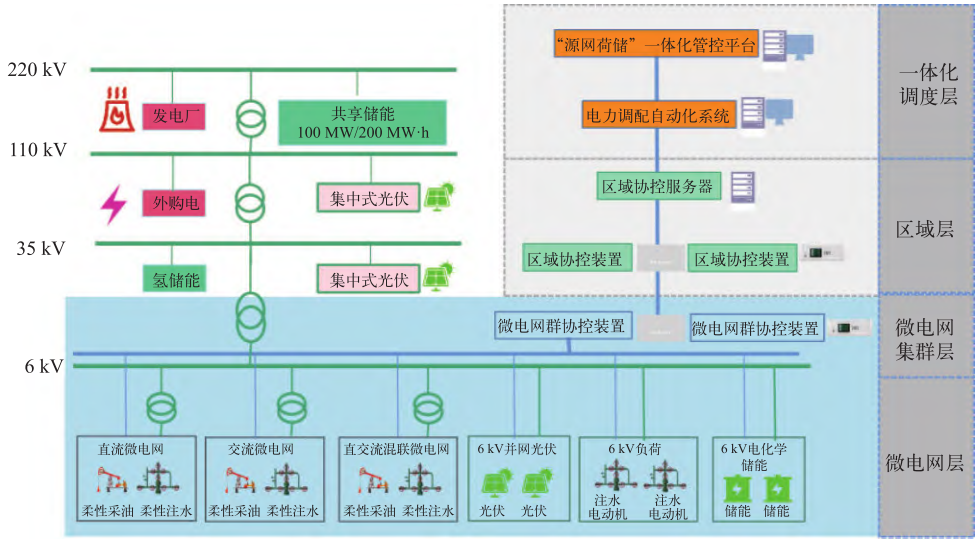


图 1 系统框架图

Fig. 1 System framework diagram

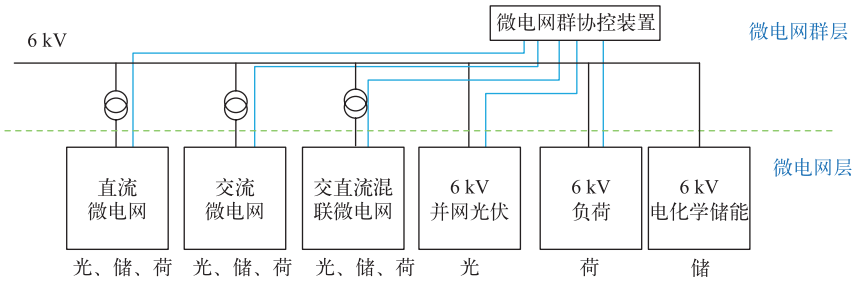


图 2 微电网群控框架图

Fig. 2 Microgrid group control framework diagram

济效益。设计油田定制化“源网荷储”协同的低压交直流微电网群规划方法、多时间尺度储能协调控制技术和多源微电网多时间尺度实时协同调控方法等创新关键技术。更大范围地管理和协调资源，调节能力更强，受调节区域的电网更稳定，区域内设备供电可靠性更高。为上层电网提供更加可靠、稳定和能量交互更加平滑的新能源接入区域，降低上层电网负荷或出力的波动，有利于提高电网的整体经济效益。尽管从动态优化算法的角度考虑，边界条件更多、更复杂，但总体经济性目标相对于单个独立的微电网更优。对于可参与快速功率控制的设备，采用GOOSE协议通信，实现毫秒级协控，为整个电网频率波动的抑制贡献力量，提高电力系统稳定性。

2 多源微电网系统

多源微电网系统以能源路由器为核心统一进行能量管理，结合油田最新电价激励补偿机制，如图3所示，通过本地EMS实现微电网内能量就地消纳，白天光伏发电在微电网内给抽油机等装置使用，多余能量采用储能装置存储，夜间抽油机由电网和储能装置供电。同时能源路由器向微电网协控装置上传网内状态信息，为微电网群层制定策略提供支撑。实现交直流互联，多源融合，统一协调控制；网内自发、自用和自储，实现能源就地消纳，与电网侧最小能量交互；解决高比例新能源接入带来的消纳问题，燃煤价格和外购电成本持续上升带来的电力运营成本上升问题，生产负荷柔性调节能力受限问题，自备机组调峰调频能力受限问题，末端电压高、三相不平衡、谐波、无功和电压波动等电能质量问题，光伏集中上网对电网冲击问题；消除油井变压器平均负荷率低，“大马拉小车”现象突出问题；微电网经济最大化运行模式，优先使用新能源，削峰填谷，降低线路和变压器损耗，实现收益最大化。微电网内交直流互联解决抽油机回馈制动问题，将制动能量回馈电网。

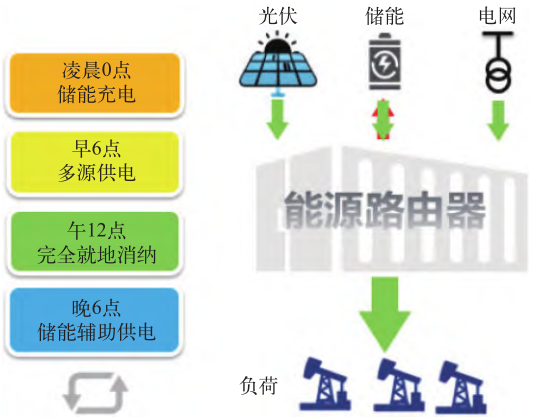


图 3 微电网控制执行策略图

Fig. 3 Micro grid control execution strategy diagram

3 试点线路

3.1 试验井场

根据试验井场实际负荷运行情况，选取6 kV中干西线挂接处井场建设能源路由器，并根据三处已建废弃井场光伏配置，打造微电网集群智能协控系统示范点，用于调节6 kV中干西线绿能消纳平衡。GD82XX等4座井场附近有5口油井，配电模式为：6 kV高压线路-变压器-井场负荷的放射式配电系统，井场用电设备电源均引自变压器低压侧，抽油机由抽油机变频柜控制。井场供配电系统如图4所示，周围生产及用能场景丰富，进行微电网集群智能协控系统建设，将多源互补型交直流微电网与光伏、储能结合。

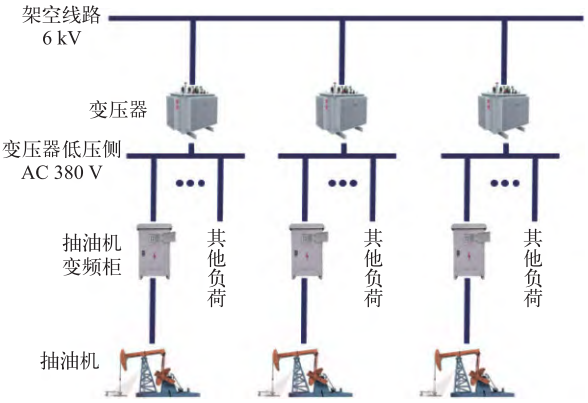


图 4 井场供配电系统图

Fig. 4 Well site power supply and distribution system diagram

GD82XX等4座井场设有2台100 kV·A变压

器和1台50 kV·A变压器，用电负荷包括37 kW抽油机电动机5台（变频控制）、低氮燃烧器2台（3 kW）和其他自控通信设备（2 kW）。GD82XX等4座井场用电现状统计见下表。

表　GD82XX 等 4 座井场用电现状

Tab. Electricity consumption status of four well sites including GD82XX

序号	井号	设备负荷 / kW	变压器 / kV·A	用电量 /（kW·h/d）	线路名称	上级变电站	导线规格	线路负荷容量 / kV·A
1	GD82X9	40	50	268.8				
2	GD82X7							
3	GD82	111	100	913.3	6 kV 桩 303 线	110 kV 孤东 2# 变电站	LGJ-120	7 430
4	GD821							
5	GD82P1	42	100	374.4				

3.2　实施方案

对GD82XX井场进行数据分析，井场已建围栏光伏装机容量125.35 kWp，已建200 kV·A变压器1台，5口油井控制柜（380 V、37 kW）及其他自控通信负荷5 kW。通过已建200 kV·A变压器为微电网系统提供电源支撑，围栏光伏和储能电池接入能源路由器直流侧，抽油机用电负荷由能源路由器交流输出侧供电，能源路由器根据系统内用电情况进行统一实时调配。根据井场光伏装机容量和用电负荷选择能量路由器型号，拟在GD82XX井场西侧新建1台100 kV·A能量路由器，试点井场一体化系统如图5所示，内置微电网集群智能协控系统、100 kW/200 kW·h分布式储能，通过能量路由器为GD82XX井场负荷供电。采用预制集装箱整体交付，能量路由器是核心转换设备，它连接直流侧或交流侧，具有完善的保护功能和优质的电能输出，是连接电网与储能电池组、光伏组件的电力电子接口设备，通过控制可实现电压、电流的交直流双向变换功能。

能量路由器内部静态旁路开关配置静态转换开关（STS），作为防孤岛保护，STS串联在电网低压侧和微电网储能系统的负荷之间。如图6所示，正常情况时，主控系统采用分布式电源功率协控机制进行柔性调整，减少外界扰动对电网冲击，降低故障率。线路故障时，通过静态旁路切换开关无缝切换离网模式，微电网内部可通过

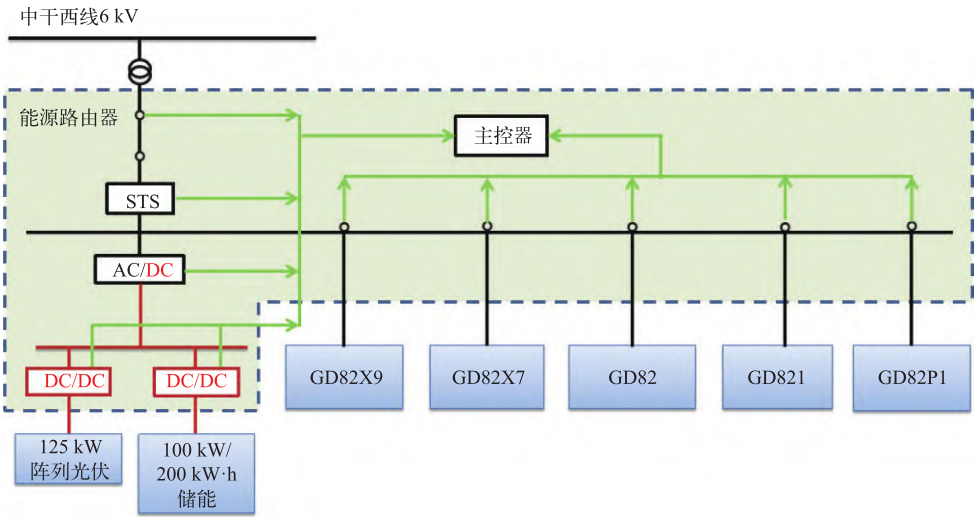


图 5　井场一体化系统图

Fig. 5 Integrated system diagram of well site

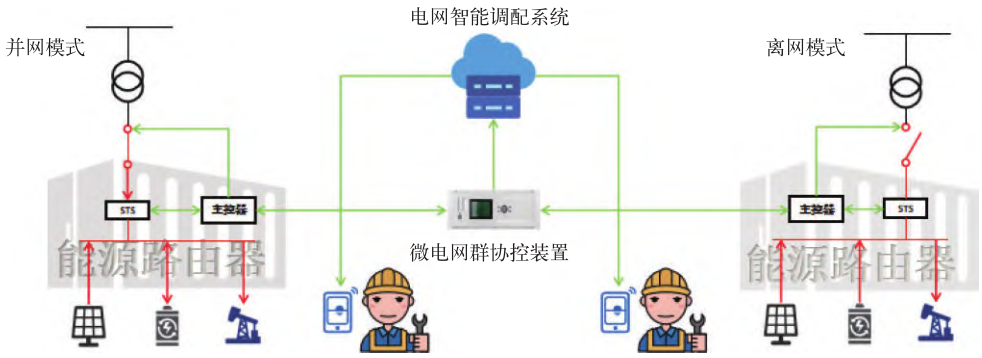


图 6　并离网模式

Fig. 6 Parallel off grid mode

储能系统支撑运行2 h，有效提高供电可靠性，满足电网检修、故障时抽油机不间断供电。实施现场运行装置如图7所示。



图 7　现场运行图

Fig. 7 Field operation diagram

3.3　效益分析

本项目配置功率100 kW/200 kW·h的储能，暂按2.2元/（W·h）计算储能电站总投资。考虑电站运维检修等停运时间，储能电站按350天/年计算收益。同时因电池放电深度及整站系统损耗等原因，计算时系统放电效率为90%，通过计算可知，每天两充两放、每次2 h效益最优，每年收益为7.23万元。 采用多源微电网系统进行优化后，光伏发电和抽油机用电在微电网系统内进行交互，减少光伏发电输送变换损耗、线路损耗，每个微电网单元供电变压器由原来的4台缩减为1台，降低了变压器的铁损、铜损。根据现行GB 20052—2020《电力变压器能效限定值及能效等级》，对油浸式和干式变压器的损耗进行限定。微电网原有1台50 kV·A和2台100 kV·A的变压器给5套抽油机供电，每台抽油机实际带负荷10 kW，带负荷率为20%，优化后变压器的损耗降低。从抽油机用电、光伏发电等方面进行分析，经计算本试验项目总降损为2.37万kW·h，总节省金额为1.71万元。保障效益考虑每年电网检修停电及故障停电，智能微电网储能供电保障油井不停产，本次智能微电网涉及油井4口，保产效益4×8 h（停电时间/年）×1.0 t（单井日油）/24 h×7.35桶/t×692.144元=0.68万元。综合光伏和储能低压消纳绿电情况，电网侧每年可节省网损电量0.48万kW·h，按照油田平均电价0.72元，计算出节省线损总金额0.35万元/年。每年综合效益约为9.97万元。 通过对采油厂GD82XX井场进行新能源示范工程建设，进一步增强了该区域电网运行的安全性、可靠性，提高了电力保障能力，有利于促进油田生产平稳运行。下一步将GD82XX井场进行微电网复制，扩大试验规模，将多个微电网通过协控系统进行互联，可以实现区域范围内的能量平衡和调动，参与电网调频调峰，起到虚拟电厂的作用，降低用电成本，促进节能减排，进一步推动“绿色企业行动计划”的实施。

4　结束语

在国家政策的引导下，随着风电和光伏等分布式发电装机量的提高，带动了微电网行业的快速发展，通过在油田井区新能源配电环境下微

电网集群智能协控系统的实施应用，建成多能平衡互济、源荷高效匹配和新能源友好消纳的“源网荷储”一体化智慧能源系统，从行业发展前景来看，新能源发展、个性化供电需求和“一带一路”沿线微电网的建设都将成为新的市场增长点。

参考文献

[1] 张文杰，吕世轩，高启瑄，等．基于固态变压器的交直流混合配电系统协调运行控制策略[J]．电力建设，2023，44(4)：103-112．

[2] 费世凯．含混合储能的光伏直流微网接入牵引供电系统技术研究[D]．北京：北京交通大学，2022．

[3] 雍慧．集成光伏-储能的隔离型三端口全桥DC-DC变换器直流并网控制研究[D]．北京：中国矿业大学，2021．

[4] 周宇，郝思鹏，黄堃，等．基于电力电子变压器的三端协调控制[J]．电测与仪表，2018，55(20)：130-136．

[5] 戴鑫．基于电力电子变压器并网装置的微网控制研究[D]．杭州：电子科技大学，2013．

[6] 刘海涛，熊雄，季宇，等．直流配电下多微网系统集群控制研究[J]．中国电机工程学报，2019，39(24)：7159-7167．

[7] 毛卓越．多站融合交直流微网系统研究[J]．电力与能源，2020，41(3)：298-303．

[8] 孙玉巍，马敏，付超．基于电力电子变压器负荷灵敏度辨识的直流微网切负荷方法[J]．高电压技术2020，46(7)：2340-2350．

[9] 王庆喜，袁至，王维庆，等．基于直流微网的固态变压器及其VSG控制[J]．现代电子技术，2022，45(24)：80-85．

[10] 申明，张晓斌．含直流储能的双端柔性直流输电技术提高微网并网稳定运行能力的研究[J]．西北工业大学学报，2018，36(3)：528-535．

[11] 高立艾，霍利民，黄丽华，等．基于贝叶斯网络时序模拟的含微网配电系统可靠性评估[J]．中国电机工程学报，2019，39(7)：2033-2041．

作者简介

王建（1982—），男，正高级工程师，主要从事电能质量控制技术及装置研究，电能质量产品、试验电源、新能源储能系统等产品的研发、设计及技术推广工作。

（收稿日期：2023-12-22）