

基于能源路由器的多源微电网在油田系统应用

王 建¹, 武 东², 刘 畅³, 孙元庆², 迟恩先¹

(1. 山东华天电气有限公司, 山东 济南 250101; 2. 泰山玻璃纤维有限公司, 山东 泰安 271000;

3. 山东电工电气集团新能科技有限公司, 山东 济南 250100)

摘要: 针对油田井场分布式光伏、风电等新能源广泛接入, 导致电力潮流双向流动, 给以单向流通型配电网的交流电网带来经济和安全冲击, 研制基于能源路由器的多源微电网储能系统, 将多源微电网融合与生产柔性相结合, 实现微电网内多源互联, 解决多源接入带来的各种问题, 并在油田井区进行试点应用。
关键词: 油田; 新能源; 电能质量; 储能; 微电网

Application of multi-source micro-network based on energy router in oil field system

WANG Jian¹, WU Dong², LIU Chang², SUN Yuanqing², CHI Enxian¹

(1. Shandong Hoteam Electric Co., Ltd., Jinan 250101, China; 2. Taishan Fiberglass Inc, Taian 271000, China;

3. Shandong Electrical Engineering & Equipment Group New Energy Technology Co., Ltd., Jinan 250100, China)

Abstract: This paper aims at the wide access of new energy sources such as distributed photovoltaic and wind power in oil field, which leads to the two-way flow of power flow and brings economic and security impact to the AC power network with one-way distribution network, a multi-source micro-network energy storage system based on energy router is developed, which combines multi-source micro-network fusion with production flexibility to realize multi-source interconnection in micro-network and solve various problems caused by multi-source access, and in the oil field well area pilot application.

Key words: oil fields; new energy; power quality; energy storage; micronet

0 引言

近年来, 随着“双碳”目标的提出, 我国能源转型进程进一步加快, 而油气行业作为我国国民经济的支柱产业, 在“双碳”目标新要求 and 能源转型大趋势推动下, 面临减排减碳、绿色发展的压力增大。新能源快速发展, 高比例接入油田电网后, 由于新能源发电的随机性、间歇性特征和自备电厂调峰调频能力有限, 造成在一个区域范围内无法实现完全就地消纳, 呈现高比例状态

不断上返涌入电网, 目前主要采用手动脱离方式切断新能源接入系统, 造成电源侧弃风弃光等问题。不仅效率低、成本高、资源浪费严重, 还会对油田电力系统自身稳定性、安全性和经济性带来未知的挑战。迫切需要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。通过研究基于能源路由器的多源微电网方案在油田中的试点应用, 合理化地提供适合油田场景的解决方案, 保障分布式发电能够规模有序、安全可

山东省技术创新项目 (项目编号 202350100758)

靠、经济高效地接入电网。实现可再生能源与电网友好协调及高效消纳,提供实际的应用研究基础。

1 新能源背景下油田现状

油田井区分布式光伏场站数量多、分布广、结构复杂,在光伏等分布式新能源接入系统后,新能源间歇性增加了配电网功率实时平衡的难度,造成生产负荷柔性调节能力受限。带来末端电压高、三相不平衡、谐波、无功、电压波动等电能质量问题和光伏集中上网对电网冲击问题,提高用电可靠性;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、变压器损耗,实现收益最大化;解决抽油机回馈制动问题,将制动能量回馈电网。

油田井区分布式光伏场站数量多、分布广、结构复杂,在光伏等分布式新能源接入系统后,新能源间歇性增加了配电网功率实时平衡的难度,造成生产负荷柔性调节能力受限。带来末端电压高、三相不平衡、谐波、无功、电压波动等电能质量问题和光伏集中上网对电网冲击问题;引起系统电压暂降或供电暂时中断。油井变压器平均负荷率低,“大马拉小车”现象突出,受抽油机起动负荷大、运行负荷低特点影响,油井变压器容量选择一般偏大。根据有关测试资料统计,油井配电变压器的平均负荷率不足35%。油井电动机功率因数低,电动机无功损耗高,抽油机异步电动机运行时负荷率普遍在25%~40%之间,是典型的“大马拉小车”的用电设备。异步电动机在负荷率 $P_2/P_n < 50\%$ 时,其运行效率和运行功率因数大幅度下降,无功损耗较高。随着油田的滚动开发,低产低液油井不断增多,现有的参数优化方式是由人工查询油井参数并根据经验制定方案,再由管控人员调整生产参数,不能及时有效地优化生产参数,无法满足油井精细化管理的要求。变压器、线路、抽油机损坏大,造成大量的电能浪费。

2 基于能源路由器的多源微电网储能系统

多源微电网系统由光伏矩阵、储能装置、抽油机装置、多端口能源路由器和配电变压器等构成。多源微电网储能系统以能源路由器为核心统一进行能量管理,微电网构成如图1所示。将油田的分布式光伏、分布式电储、分布式热储和抽油机负荷融合在一起。以最小单元就地平衡为原则,实现新能源就地消纳,多余能量存储;平抑峰谷波动,降低用能成本。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,将多源

融合,统一协调控制;微电网内自发、自用、自储,实现能源就地消纳,与电网侧最小能量交互;解决末端电压高、三相不平衡、谐波、无功和电压波动等电能质量问题和光伏集中上网对电网冲击问题,提高用电可靠性;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、变压器损耗,实现收益最大化;解决抽油机回馈制动问题,将制动能量回馈电网。

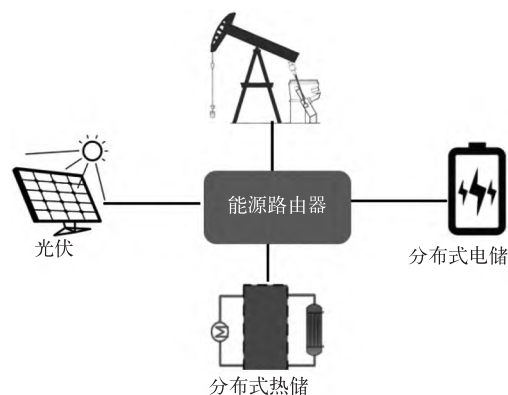


图1 微电网构成

Fig. 1 Composition of microgrid

2.1 装置系统

能源路由器是核心转换设备,将油田井场中的交直流源荷通过多端口能源路由器交互,实现直流侧和交流侧互联,具有完善的保护功能、优质的电能输出。能源路由器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。装置系统由主功率部分、信号检测部分、控制部分、驱动部分、监控显示部分和辅助电源等构成,如图2所示。本地控制器MC通过电网侧GCT、GPT监测,电网侧的电压和电流信号通过计算微电网与电网交互的功率控制变流器的工作状况和能量的传输;监测电网侧的电压情况,当电网电压异常时,通过控制STS回路的通断实现并离网的快速切换,具备高、低压穿越和防孤岛保护功能,防止非计划性孤岛运行,可并离网启动及运行,当STS故障时,主控系统通过KM1的闭合将STS进行快速旁路,然后手动闭合维护断路器QF1实现STS脱离系统。变流器的直流侧采用下垂控制

功能,DC母线将储能电池系统、抽油机负荷和分布式光伏发电设备混联,可满足不同电压等级、多源互联。

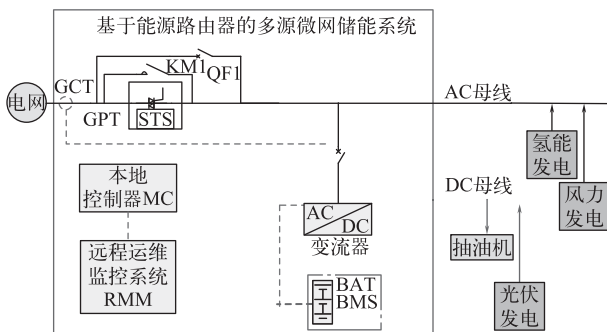


图2 装置系统图

Fig. 2 Device sistem diagram

将分布式光伏发电、储能电池和抽油机通过多端口能源路由器直流互联;氢能和风能等多端口能源路由器交流接入。实现分布式电源低压交直流多端口接入。本地控制器MC能源路由器进行源-储-荷协调控制统一管控、柔性互联、能量流动与消纳。为大量分布式电源有序接入、有序消纳提供有效途径。远程运维监控系统RMM基于5G平台与本地装置进行无线互联,实现远程数据监控、指令调控,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。

将整个区域内所有设备抽象为发、储、荷,建立数学模型如图3所示,区域内的分布式发电设备、用电设备进行模拟排布,不同颜色代表不同的发、用电设备,根据距离分布、功率分布和时间波动性进行潮流仿真分析,优化算法逻辑,实现区域内能量时空互联互补,群内功率平衡、能量平衡,降低互济损耗,提升系统总体经济效益。

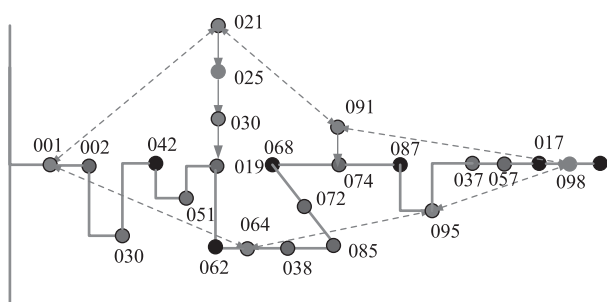


图3 模型示意图

Fig. 3 Model diagram

2.2 防孤岛保护设计

能源路由器内部静态旁路开关配置STS装置,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,STS快速切换装置实现电网的快速通断,具备孤网运行功能。当离网运行时STS断开,当并网供电或接受电网调度时STS闭合,并离网切换无缝衔接。同时可接受协调控制系统指令。电网正常情况下STS导通,装置工作于并网状态。当电网停电后,主控快速检测电网断电,快速断开STS转换为微电网供电方式,变流器通过储能电池迅速转换为电压源,为新能源发电设备提供电压支撑,保证发电设备正常发电,为区域负荷提供不间断电力,保证区域不间断供电。当STS故障时,主控系统控制接触器KM1将STS主动旁路,装置维护检修时通过旁路开关QF1将其切除脱离电网。进行STS设计,对晶闸管选型、散热器等进行热仿真和结构设计等。表1通过计算晶闸管损耗及期望的散热器热阻,按照变压器容量设计STS功率,以200 kA计算出晶闸管单管的峰值电流、平均值电流和有效值电流,按照平均值电流的3倍选取晶闸管功率,选用500 A的晶闸管进行设计,保障工作的可靠性,不同风速下进行热阻计算,图4为散热器热阻曲线设计,选取环境温度为40℃时,根据散热器长度0.3 m、有效截面周长2.16 m,计算出散热器表面积0.650 1 m²,选用平均风速4 m/s,计算出散热器与空气间的平均传热系数为 $h=22.62$,散热器与空气的传热热阻为 $0.068R_{thk}$,选用散热器高度0.025 m、散热片厚度0.245 cm、30翅的散热器,通过计算散热器的自身传热热阻为0.005 57℃/W,计算出散热器在风冷条件下的总热阻为0.074℃/W。

2.3 基于时空分段法充放电控制策略

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,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

表 1 晶闸管损耗计算表
Tab. 1 Calculation table for thyristor losses

名称	系统电压等级 /V	STS 带载功率 /kW	晶闸管反并联后总有效值电流 I_{RMS}/A	单器件峰值电流 I_m/A	单器件平均电流 I_{AV}/A	单器件有效值电流 I_{RMS}/A	硅的平均电流选取倍数	硅的选取电流平均电流 $I_{T(AV)}/A$	硅的并联个数	硅的并联均流系数
	400	200	288.7	408.2	129.9	204.1	3.0	389.8	1	0.8
晶闸管模块	硅并联后的平均电流选取推荐值 /A	单只硅的平均电流选取推荐值 /A	单只硅的平均电流 $I_{T(AV)}$ 实际选取值 /A	单只硅的实际平均电流选取裕量倍数	单只硅的平均电流实际工作值 /A	门槛电压 V_{T0}/V	通态斜率电阻 $r_T/m\Omega$	单只硅单芯片耗散功率 P_{AV1}/W	单只硅单芯片耗散功率裕量系数	单只硅单芯片耗散功率 PAV 考虑 10% 裕量 /W
	487.2	487.2	500.0	3.8	129.9	0.85	0.39	126.7	10%	139.4

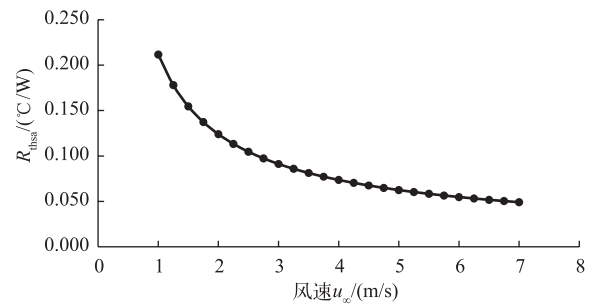


图 4 散热器热阻曲线设计
Fig. 4 Design of thermal resistance curve for radiators

能装置供电。将油田井区系统内的发电功率、负荷功率，结合电价激励补偿机制进行供求之间、时间和空间的匹配，制定合理的充放电逻辑流程控制策略，实现经济最大化运行模式，优先使用新能源，削峰填谷，降低线路、变压器损耗，实现收益最大化。时空分段法的控制逻辑如图5所示，实现了对系统内储能的充放电逻辑管控。根据发电功率函数 f_1 、时间函数 f_2 和负荷功率函数 f_3 进行判定。若发电功率>发电上限阈值，则 $f_1=1$ ；若发电上限阈值 $\geq$ 发电功率 $\geq$ 发电下限阈值，则 $f_1=0$ ；若发电功率<发电下限阈值，则 $f_1=-1$ ；若时间在9:00—17:00之间，则 $f_2=1$ ；若时间在8:00—9:00、17:00—18:00、20:00—5:00之间，则 $f_2=0$ ；若时间在5:00—8:00、18:00—20:00之间，则 $f_2=-1$ ；若负荷功率>重负荷阈值，则 $f_3=-1$ ；若重负荷阈值 $\geq$ 负荷功率 $\geq$ 轻负荷阈值，则 $f_3=0$ ；若负荷功率<轻负荷阈值，则 $f_3=1$ ；通过人机界面进行自动或手动的运行机制设定，通过控制变流器对储能电池进行充放电

管理。自动运行时通过判定电池SOC<100%且时间到15:00时，按照（100%—此时电池SOC） $\times$ 总容量/2的电流充电，充电至100%截止。判定是否 $f_2=0$ ，是时不充电不放电；若不是，通过计算 $f_1+f_2+f_3$ 进行充放电判定。若 $f_1+f_2+f_3=3$ ，装置以变流器额定功率为电池充电；若 $f_1+f_2+f_3=2$ ，装置以变流器额定功率50%为电池充电；若 $f_1+f_2+f_3=-1/0/1$ ，电池不充电不放电；若 $f_1+f_2+f_3=-2/-3$ ，装置以变流器额定功率对电池恒功率放电。直至充电100%或者放电至5%结束。

3 应用案例

基于能源路由器的多源微电网储能系统在油田某采油厂进行试点应用建设。充分利用井场闲置区域，合理布局井场围栏光伏，配置适当的储能，与油井负荷构成微电网。以能源路由器为核心，将分布式光伏发电、抽油机设备汇联，实现能量就地消纳，做到绿色低碳、分布式节能和智能调控，在保证发电效率的同时，兼顾油井生产、作业和周围景观相协调。采用多源微电网为油井及其他用电负荷供电，实现降低企业能耗、促进节能减排和降本增效的目的。本系统接入交流生产负荷40 kW，光伏70 kW，配置储能50 kW/100 kW·h，可在电网故障时带动抽油机运行2 h。实现交直流互联，将多源融合，提高用电效率；解决末端电压高、谐波、无功和电压波动等电能质量问题和光伏集中上网对电网冲击问题，提高用电可靠性；减少变压器数量和容量，降低线路及变压器损耗。装置实施图6a将井

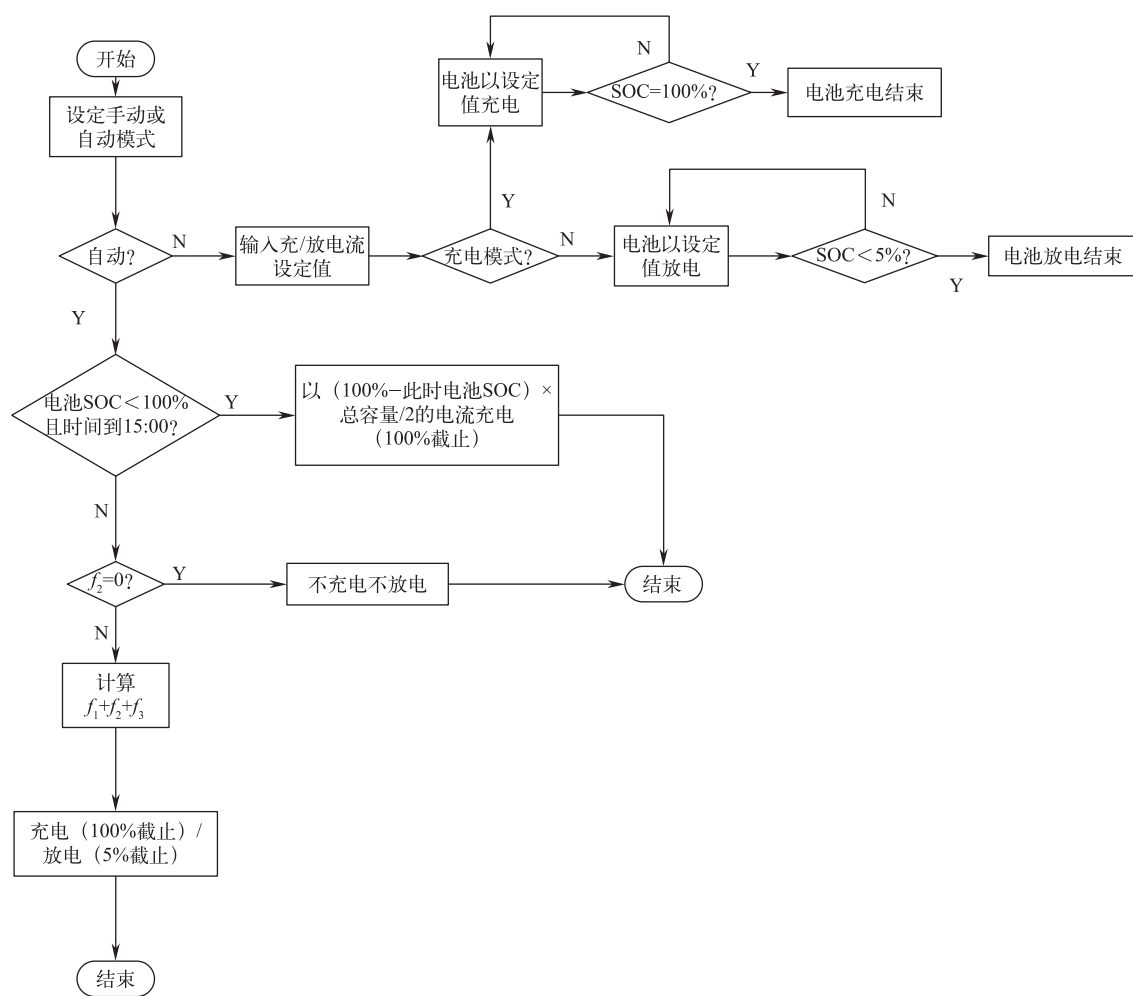


图5 时空分段法的控制逻辑

Fig. 5 The control logic of spatiotemporal segmentation method

区原有的4台变压器进行整合,采用1台100 kV·A变压器给微电网系统提供电源支撑,实现能源路由器与电网交互。变压器380 V与多端口能源路由器进行接入。图6b为多源微电网储能系统,对能源路由器、储能电池、控制系统、电控柜和消防等进行一体化设计,户外整体安装。图6c实现后井区内一体化布局。图6d装置运行后,根据预制的控制策略进行微电网内能量的管控,实现与电网的最小交互,达到预期的设计效果。

4 结束语

通过基于能源路由器的多源微电网系统,

针对高比例新能源油田供用电系统的实际应用情况,将新能源发电就地消纳,可以有效缓解电网接受新能源高峰期返送电带来的压力,从源头上解决高比例新能源并网带来的问题,将压力转化为经济发展的动力。实现了就地微电网的能量平衡,与电网的最小交互,下一步扩大微电网的推广,将各个微电网通过建设多源微电网协调控制系统互联起来,未来微电网与大电网将采用“并网-双向潮流-弱交换”的模式,重构一种“自下而上”、非计划和复杂自适应的体系,打造电力市场交易平台,实现虚拟电厂响应。用户也将实现从“用电端”到“用-售电端”的转变,获取更大的经济效益,真正实现对电的经营。



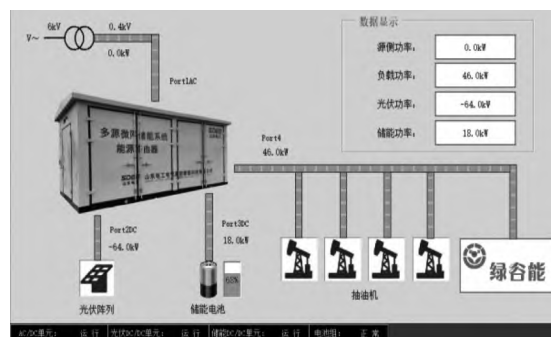
(a) 井场改造前多台变压器



(b) 一体化装置实物图



(c) 井区实施图



(d) 零交互主界面

图 6 现场实施效果

Fig. 6 On site implementation effect

参考文献

- [1] 任冲,柯贤波,王吉利,等.高比例新能源电网新能源功率优化分配方法[J].电力电子技术,2022,41(3):110-117.
- [2] 卢毓东,谢祥颖,刘周斌,等.基于储能电源的配电网末端电压改善方法[J].电网与清洁能源,2019,35(6):28-33.
- [3] 王建,武东,孙元庆,等.典型中频炉配电系统谐波干扰分析及应用[J].电气应用,2023,42(3):50-55.
- [4] 陈昌强,王万斌,田世东,等.分布式电源与储能协同的台区电能质量治理[J].电力电子技术,2022,56(11):92-95.
- [5] 刘柏良.多源微网典型应用的优化设计[D].南京:东南大学,2015.
- [6] 丁小华.基于多VSG的孤岛微电网分布式二次控制策略研究[D].南昌:南昌大学,2022.
- [7] 董旭,徐永海,马宁,等.基于自适应特性的直流微电网双因子下垂控制策略研究[J].电源学报:1-17.
- [8] 薛慧杰,朱天璋,田启川.直流微电网独立与并网模式无缝切换控制策略[J].电源学报,2020,18(6):77-85.

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:2023-09-07)