

整县屋顶光伏接入公变的台区保护配置分析

杨秋昀*, 张 建, 关静恩

(云南电力技术有限责任公司, 云南 昆明 650217)

摘要: 文章主要探讨了屋顶光伏电源接入配网的原则及接入配网后, 配网故障进行保护分析, 在此基础上, 还开展了仿真实验。结果发现, 接入之后会对外提供一定的故障电流, 配网原有保护灵敏度会出现相应的变化, 必须按照仿真结果适当对保护定值进行调整。整县屋顶光伏示范, 以接入中压 (专变)、低压 (公变) 为主。本文对小容量光伏接入低压后的台区保护配置开展分析。

关键词: 整县光伏; 台区保护配置; 故障分析

中图分类号: TM764

Analysis of the Protection Configuration of the DIstribution Area Containing Rooftop Photovoltaic in Whole County

YANG Qiuyun*, ZHANG Jian, GUAN Jingen

(Yunnan Electric Power Technology Co., Ltd., Yunnan Kunming 650217, China)

Abstract: This paper mainly discusses the principle of rooftop photovoltaic power supply access to the distribution network and analyzes the distribution network fault protection after photovoltaic connection, on this basis, the simulation experiment is carried out. The results show that after access, a certain fault current will be provided, after photovoltaic connection, and the original protection sensitivity of the distribution network will change accordingly, so the protection value must be adjusted according to the simulation results. The whole county rooftop photovoltaic demonstration, mainly access to medium voltage (special transformer), low voltage (public transformer). This paper analyzes the protection configuration of the distribution area after the small capacity photovoltaic power is connected to the low voltage.

Keywords: the whole county photovoltaic; distribution area protection configuration; fault analysis

我国的传统配电网是具有大电源的单向供电模式, 客户端接入的光伏电源会带来电力系统管理革命性变化^[1]。分布式电源接入形成了配电网的网架多电源结构, 电网潮流的大小和方向都将发生改变。发生故障时系统电源和分布式电源电站并网均会提供故障电流, 不利于现有配电网继电保护的可靠运行。因此, 大量分布式电源接入到配电网中, 为保证电能的安全可靠供应, 必须给电力系统提出新的要求, 用以保证电能的安全可靠供应, 特别是在继电保护方面。本文针对公变并网的光伏发电系统, 对其并网后保护配置进行分析。

1 公变接入保护分析

光伏电源从公变接入配电网, 改变了原有的电源系统, 由单电源系统变为多电源系统^[2]。光伏电源是将直流电源变为交流的逆变电源, 逆变器的输出方式为恒定功率输出方式, 由此可见, 当光伏并

收稿日期: 2024-12-12

网逆变器交流侧短路时, 其故障电流一般不会超过额定电流的 1.5 倍, 光伏侧提供的短路电流有限。

公变配置有自己的保护, 目前自身公变高压侧保护配置有过载保护、短路保护, 以及过压保护功能; 配变低压侧 (JP 柜) 由进线单元、出线单元、无功补偿单元组成, 其进线单元保护配置有过载、短路、过压保护, 出线单元保护配置应有应具有过载保护、短路保护、过压/欠压保护、缺相保护及重合闸功能; 无功补偿单元保护配置应有过电压、欠电压、欠电流、过补偿、欠补偿等保护功能; 客户电源进线保护配置具备过载、短路及漏电保护功能。

除了公变的保护配置之外, 光伏电源本身也有自己的保护配置需求, 目前光伏并网箱配置有光伏并网逆变器, 光伏并网逆变器自身配置有过/欠压保护、过/欠频保护、过电流保护、防孤岛效应保护等。光伏电源接入配电网以后, 这些保护应与配电网原有的保护相配合, 构成一个完整的光伏发电并网继电保护体系。

2 保护动作逻辑分析

目前，分布式电源的主要接入的电压等级为中压配电系统 10 kV 电压等级，其中每一回 10 kV 出线称为一条馈线，每条馈线由主馈线和多个分支线路、配电变压器电容器 JP 柜、熔断器、并网箱、客户开关等组成，本文主要针对光伏单相并网和三相并网方式进行分析。

2.1 故障点位置在图 1 位置 1 处配变高压侧的动作分析

10 kV 馈线按照现有的“干线投逻辑、支线投保护”原则，变电站内出口（延时 0.2 s）与支线首

端分界（瞬时跳闸）的两级时间配合（按照短路电流启动，计时跳闸），台变高压侧相间短路故障，由台变所在大支线首端分界瞬跳。台变高压侧单相接地故障，从站内至站外接地地点处的系列开关有更充裕的动作时间差。

以下分相间故障、单相接地故障，配置跌落式熔断器、智能柱开 2 种类型来分析。

2.1.1 相间故障通过跌落式熔断器隔离

因为相间故障处于支线末端的中压侧，从临近其他台区光伏电源、故障台区低压侧光伏电源返送电影响较小，变电站侧主电源受线路长度和阻抗的影响，馈入故障点的短路电流不会非常大，因此，

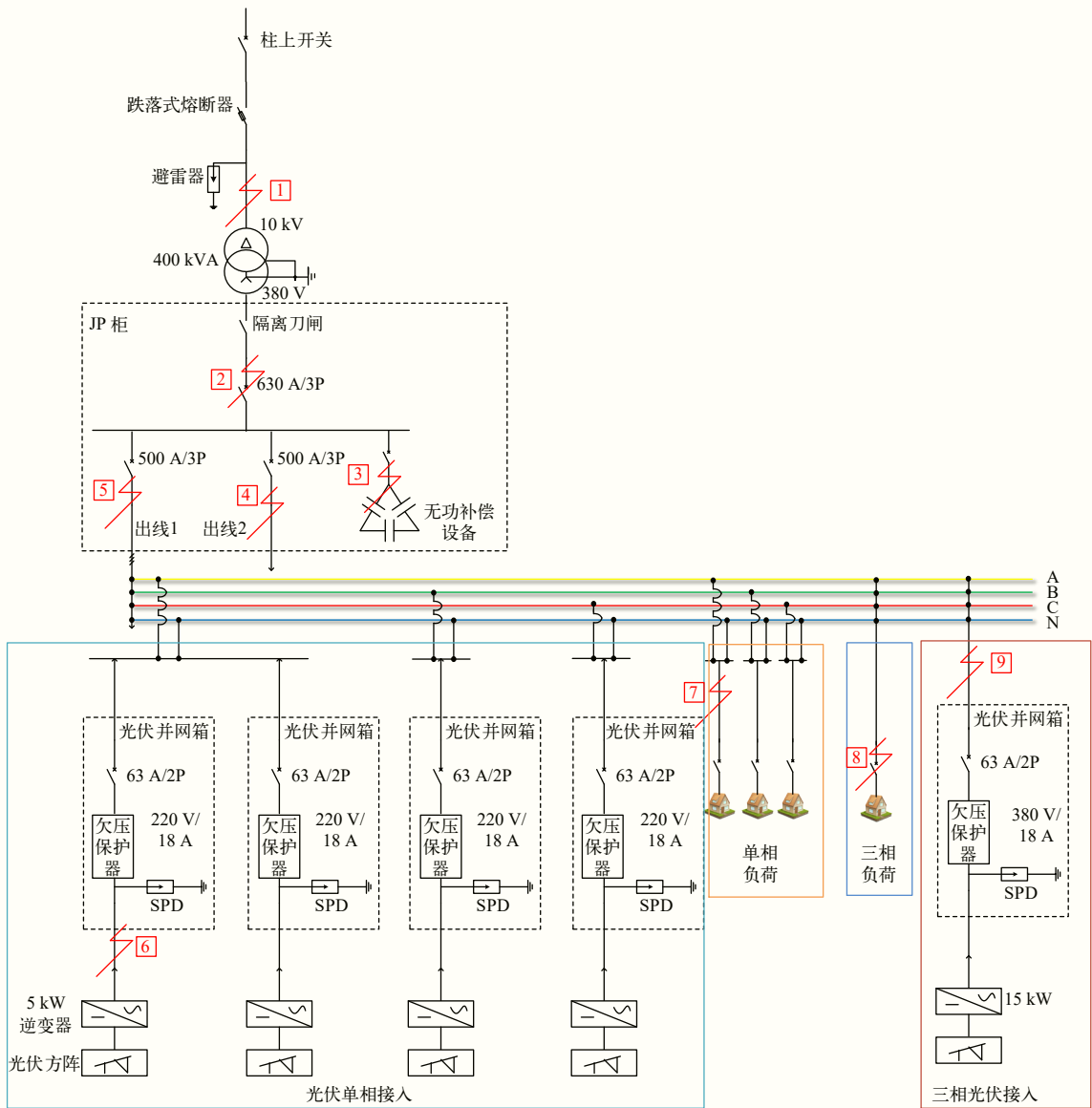


图1 分布式光伏发电典型接入系统图

跌落式熔断器能够可靠动作，但是由于跌落式熔断器的动作时间不稳定，无法与台变所在大支线首端分界配合，事后需要人工现场更换熔丝投上熔断器。

2.1.2 单相接地故障通过跌落式熔断器隔离

单相接地故障存在以下 2 种情况：1) 单相接地时熔断器及时熔断后，台区缺相运行的情况，等待报障后，人工现场更换熔丝投上熔断器；2) 单相接地电流不够大，熔断器无法及时熔断，变电站内单相接地保护动作，全线跳闸，接地故障消失，或重合闸动作之后，接地点处继续发展至相间短路故障。

2.1.3 相间故障通过智能柱开隔离

关键在于台变高压侧智能柱开与台变所在大支线首端分界的配合，因为现有的逻辑中分界已被定义为速断跳，按照“支线投保护”原则，分界（假设 800 A）与站内（假设 1 000 A）在过流基础上配合时间差（0.2 s）。台变高压侧智能柱开与分界（假设 800 A），还有过流幅值极差（<800 A）可用，但要求对支线末端靠近台变中压侧的短路电流能有精准的估算或计算，否则台变高压侧的智能柱开实现抢跳可能性不大。

2.1.4 单相接地故障通过智能柱开隔离

单相接地跳闸，中性点小电阻接地方式，站内隔离大约在 0.5 s，中性点消弧线圈接地（含小电阻并消弧线圈，或消弧线圈）、中性点不接地方式，站内隔离大约在 7 s，目前智能柱开具备暂态接地故障判断功能，在分支线路上能实现快速隔离接地故障，站内有小电流接地选线配置，分支线路上的智能柱开与站内小电流选线装置可以实现极差配置。

综上所述，4 种方式分析后，若台变高压侧选用智能柱开，从保护配合角度，相间短路故障需要具备对支线末端靠近台变中压侧的短路电流能有精准的估算或计算能力，相间短路故障和单相接地故障都需要具备远方定值维护能力，这样加上智能柱开本身具备的远方操作功能，才能实现台变故障的抢跳就近隔离，以及无需人工现场更换熔丝投跌落的消耗，综合性价比才更优。

2.2 故障点位置在图 1 位置 2 处配变低压侧的动作分析

目前低压侧的接线方式是三相四线制，属于直接接地系统，单相接地故障就是短路故障，短路电

流大。当配变低压侧发生单相接地或相间短路故障时，故障点如果是在塑壳断路器之前，安装在配变高压侧跌落式熔断器应首先动作；如在塑壳断路器之后（低压母线故障），塑壳断路器应首先动作；这里指“首先动作”的前提是上级开关（对于配变高压侧开关，其上级开关是干线与支线的分界；对于 JP 柜进线塑壳断路器，其上级开关是配变高压侧跌落式熔断器或智能柱开）与其有个级差配合，由于时间极差上已经没有空间进行设置，因此这个级差只能通过电流极差设置来实现。

综上所述，对于 JP 柜进线塑壳断路器，只需配置过载、短路、过压保护。过压保护通过低压避雷器实现，过载保护和短路保护依靠塑壳断路器自身。因 TN 接线方式，不配置漏电保护，不应具备时间控制功能。此处位置属于要害、关键、核心点。保护功能应简单、可靠。

2.3 故障点位置在图 1 位置 3 处无功补偿单元的动作分析

无功补偿单元进线处配置塑壳断路器，塑壳断路器需要配置过载、短路保护，对于无功补偿单元回路塑壳断路器，与 JP 柜进线塑壳断路器有极差配合，这个级差通过电流设置来实现。

无功补偿单元自身配置，过压、欠压保护功能和缺相保护功能，由控制器配合智能电容器或可控开关实现过压切除、过压保护、欠压切除和欠压保护功能。电源线路任一相（或两相）失电，能判断为缺相。由控制器控制塑壳断路器立即动作切除所有电容器组，闭锁投切回路，待电源线路恢复正常后，投切回路自动解锁。

2.4 故障点位置在图 1 位置 4 处（出线 2 段发生故障）的动作分析

JP 柜进线与出线间的母线电压为 400 V。这里可做 2 种假设，整个台区处于离网用电状态或整个台区处于上网发电状态。离网用电状态：设定出线 2 用电为主，出线 1 发电为主，出线 1、2 整体仍以用电为主。上网发电状态：出线 2 用电为主，出线 1 发电为主，出线 1、2 整体以发电为主。

光伏电源在出线 1、2 都接入以后，若馈出线 2 塑壳断路器之后发生故障，系统电源（由 JP 柜进线供给）、光伏电源（经出线 1 反馈）同时向出线 2 短路点提供短路电流，流过馈线 2 的短路电流将比

光伏电源接入前要大。

虽然光伏电源提供的短路电流最大一般不超过1.5倍的额定电流,但此时出线1以发电为主,光伏容量大,应考虑光伏电源的助增效果,对于出线2的过流保护,在光伏电源接入前后其电流整定值应该要变动调整。

出线2的塑壳断路器从检测到故障到完成分闸动作超过100 ms,而其后所接的光伏电源逆变器保护动作在半个周波,即10 ms以内就可以闭锁,其后的光伏电源待出线2塑壳断路器恢复后,实现有序并网。

而出线1处之后所接的所有光伏并网箱内开关及光伏逆变器,应承受瞬时1.5倍的额定电流不跳闸(具有故障穿越能力),否则会出线批量脱网情况。为了避免出线1处的塑壳断路器触发欠压保护,欠压保护的動作时限要大于出线2处塑壳断路器过流保护的動作时间加分闸動作时间。

同样需要注意,若馈出线2塑壳断路器之后发生故障,因为光伏电源的加入,可能会使得短路态下的JP柜内过电压形态变化,可能会对出线1的塑壳断路器的过压保护的動作时限有影响。

若光伏电源不具备低穿能力,则低压侧单相和三相的光伏电源群检电压检频率,然后并网。

通过以上分析,可以认为光伏电源加入后的出线塑壳断路器的过流整定应该调整、欠压保护功能应该调整、过压保护功能应该核实,光伏逆变器的故障穿越能力应核实。

2.5 故障点位置在图1位置5处(出线1段发生故障)的動作分析

故障点在5处的動作,同4处,因为JP柜两回出线都会接入光伏电源点。

但前述假设中,出线1以发电为主,出线2以用电为主。存在出线1的塑壳断路器后端故障,没有光伏电源(经出线2反馈)助增效应,后此刻出线1塑壳断路器在光伏电源接入前后的电流整定值可能无需调整的情况。

综合2.4和2.5的分析,塑壳断路器的过流整定、过压和欠压保护整定,需要做细致分析,一定程度上说明了在台区高比例光伏接入容量下,不同状态(用电、发电或平衡)下,JP柜内两回出线开关应该智能化、定值应该可变动调整,另外还可能会对低压母线所接的其他出线塑壳断路器(如无功补偿

单元)的定值产生影响,另外需要考虑的是负荷流动反转后,对低压塑壳断路器和中压智能柱开的動作影响。

2.6 故障点位置在图1位置6、9处的動作分析

分为故障点在光伏电源并网箱前和后。光伏电源并网箱内出线有一台微型断路器。

故障点在并网箱出线后,属于出线1故障的在低压线路上的延伸。由于低压新路回路阻抗的存在,故障电流会有一定程度的缩小,整体需要分析,但与2.5类似。

故障点在并网箱进线前,属于逆变器交流出口故障。故障发生后,该支路逆变器闭锁,其他支路光伏电源及电网电源经该支路并网箱微断短路,该微断跳闸^[3]。此刻,若所有支路的光伏电源具备低穿功能,则光伏电源的馈入比例大增,其助增效应对该处的小微断影响更大,需要计算核定。若所有支路的光伏电源不具备低穿功能,则短路态下对该处微断的影响可以忽略(前提是微断断开的時間,明显大于逆变器闭锁時間)。

通过上述分析,多点光伏源的存在,若具备低穿能力,会加大故障点支路的短路电流,使得并网箱微断的开断能力要求提高;若多点光伏源不存在低穿能力,则对并网箱微断的开断能力影响可以忽略,但应确保光伏电源群在微断断开時間前,闭锁退出。

2.7 故障点位置在图1位置7、8处的動作分析

分为故障点在客户电能表箱前和电能表箱后。客户电能表箱内进出线各有一台微断。

故障点在电能表箱进线微断前,属于出线1故障的在低压线路上的延伸。由于低压新路回路阻抗的存在,故障电流会有一定程度的缩小,与2.5类似。

故障点在电能表箱出线微断后,其他支路的光伏电源会对此故障点短路电流产生助增效应,情况与2.6类似。

3 结束语

按照分布式光伏接入的典型情况,围绕公变接入,从配变高压侧至客户电能表箱、光伏逆变器,对各节点的各类型开关保护进行了分析形成如下结论:

(下转第60页)

产过程的农机电气化发展趋势。

参考文献

- [1] 胡永朋,陈俊章,高玉明,等.我国乡村电气化发展现状与建议[J].**电力需求侧管理**,2023,25(5):34-40.
- [2] 屈博,刘畅,李德智,等."碳中和"愿景下电力消费侧发展模式转型探讨[J].**电力需求侧管理**,2021,23(5):2-4,34.
- [3] 农业无人机行业白皮书[EB/OL].<https://ag.dji.com/cn/newsroom/ag-news-cn-ag2022>.
- [4] 沈文龙,周俊,姬长英,等.中国电动拖拉机研究进展[J].**中国农机化学报**,2017,38(10):102-107.
- [5] 李欣雨,温晓鑫,葛宜元,等.农业植保无人机发展现状及趋势[J].**农机使用与维修**,2017(8):1-4.
- [6] 付学谦,杨菲菲,周亚中,等.设施农业能源互联网智能预警理论:评述与展望[J].**农业工程学报**,2021,37(21):24-33.
- [7] 王建平,王纪章,周静,等.光照对农林植物生长影响及人工补光技术研究进展[J].**南京林业大学学报(自然科学版)**,2020,44(1):215-222.
- [8] 张跃峰.新形势下设施农业及其机械化发展思考[J].**农机质量与监督**,2020(8):16-19.
- [9] JIN Y,LIU J,XU Z,et al.Development status and trend of agricultural robot technology[J].**International Journal of Agricultural and Biological Engineering**,2021,14(4):1-19.
- [10] 钟志堂,崔军,吴小伟.江苏畜禽养殖机械化现状分析和思考[J].**农机质量与监督**,2020(12):33-35.
- [11] 钱梦男,赵德安,洪剑青,等.河蟹养殖自动作业船电池剩余电量估算研究[J].**软件导刊**,2020,19(9):66-6,9.
- [12] 张维佳.2022年全球动力电池装机量大增71.8%中国厂商占六成市场[N].**中国电子报**,2023-02-21.
- [13] 郭洪宾,于惠韵,申广.分布式能源系统配置优化[J].**分布式能源**,2018,3(4):47-52.
- [14] 鲍晓华,刘伟峰,孙跃,等.低速大转矩永磁直驱电机研究综述与展望[J].**电工技术学报**,2019,34(6):1148-1160.
- [15] 章恒亮,花为.分布式驱动系统用轮毂电机及其技术综述[J].**中国电机工程学报**,2024,44(7):2871-2886.
- [16] 刘慧,龙友能,何思伟,等.四轮独立电驱动高地隙喷雾机辅助转向系统设计与试验[J].**农业工程学报**,2021,37(13):30-37.
- [17] 张铁民,闫国琦,温利利,等.我国电力农业机械发展现状与趋势[J].**农机化研究**,2012(4):236-240.
- [18] 王晓文,袁寿其,贾卫东.丘陵山区农业机械化现状与发展[J].**排灌机械工程学报**,2022,40(5):535-540.
- [19] 郭海鸿.山西省实施电动农机奖补政策的几点体会[J].**农业机械**,2019(5):69-71.
- [20] 刘孟楠,雷生辉,赵静慧,等.电动拖拉机发展历程与研究现状[J].**农业机械学报**,2022,53(S1):348-364.
- [21] 吴正开,王家忠,邢雅周,等.基于无人驾驶电动拖拉机的自适应跟踪算法研究[J].**中国农机化学报**,2023,44(11):176-183.
- [22] 崔思远,曹蕾,陈聪,等.基于应用场景的丘陵山区农业机械化发展路径研究[J].**智能化农业装备学报(中英文)**,2024,5(2):1-8.
- [23] 杨杭旭,周俊,齐泽中,等.温室电动拖拉机旋耕稳定性时序分析与前馈PID控制方法研究[J].**农业机械学报**,2024,55(3):412-420.
- [24] 李欢,张鹏飞,宴伟标.热泵-电加热联合烘干机在食品烘干上的应用[J].**轻工科技**,2020,36(5):6-7.
- [25] 李利桥,高宗余,聂晶.电动拖拉机混合电源负载自适应能量管理策略研究[J].**农业机械学报**,2024,55(9):459-469.
- [26] 薛占坡,赵心,吴蒙,等.新能源电动汽车与拖拉机标准化现状及趋势[J].**拖拉机与农用运输车**,2022(5):1-5.
- [27] 胡春雨,沈春雷,唐莎莎,等.新能源电动农机一源多用创新供能赋能农网农机融合发展——基于全国536份调查问卷分析[J].**农业工程**,2024,14(2):61-72.
- [28] 夏利利,卞兆娟,董安奇.电动农机移动充电设备设计[J].**电器与能效管理技术**,2023(5):45-50.
- [29] 吕泽焱,韩刚,俞典,等.关于浙江省农村充电基础设施建设的分析与探讨[J].**中国能源**,2024,46(Z1):142-152.
- [30] 邹铁,沈庆,邵宏,等.考虑负荷可调度特性的农村配电系统光-储-充规划展望[J].**农村电气化**,2023(8):1-5.

作者简介

王万勇(1978—),男,研究生,高级工程师,研究方向为农村电气化,E-mail: tzbarton@qq.com。

(责任编辑:袁航)

(上接第51页)

配变高压侧常规配置跌落式熔断器加避雷器,实现过载、短路、过压保护,但无法确保有效地隔离。若台变高压侧选用智能柱开,从保护配合角度,相间短路故障需要具备对支线末端靠近台变中压侧的短路电流能有精准的估算或计算能力,相间短路故障和单相接地故障都需要具备远方定值维护能力,这样加上智能柱开本身具备的远方操作功能,才能实现台变故障的抢跳就近隔离,以及无需人工现场更换熔丝投跌落的消耗,综合性价比更优。

参考文献

- [1] 黄立飞,王喜梅,薛原.整县屋顶分布式光伏接入影响分析[J].**农村电气化**,2022(5):72-74.
- [2] 吴成然,庄智,白涛."城中村"台区剩余电流动作保护器配置研究[J].**农村电工**,2015(12):28-29.
- [3] 秦金宣.分布式光伏发电的继电保护策略[J].**消费电子**,2022(4):88-90.

作者简介

杨秋昀(1989—),男,工学学士,工程师,从事配电网一二次设备的检测,开展配电网的定值核查、布点规划等工作,E-mail: 1009157449@qq.com。

(责任编辑:张峰亮)