

[断路器]

分布式光伏发电系统断路器的选型方案浅析

文/ 高平
浙江天正电气股份有限公司

基于无变压器非隔离逆变器并网光伏发电系统分析了交流配电断路器的电气特性、安装环境及系统的负载类型，以及断路器选用的影响因素，并且给出了各影响因素的降额校正系数。最后通过6组逆变器光伏发电系统的选型算例得到实际的断路器选型。算例的结果在实际的运行中确保了系统的稳定，证明选型分析方案是切实可行的。

在太阳能光伏发电系统中，配电系统保护用断路器的选择很容易被忽视，应该根据配电系统的可靠应用要求来选择正确的解决方案。如果断路器不合适，可能会导致设备频繁跳闸、过热损坏甚至系

统火灾。本文研究与分析在光伏系统中如何正确选择断路器，将基于无变压器非隔离逆变器并网光伏系统交流配电断路器的选用进行案例分析，具体如图1所示。

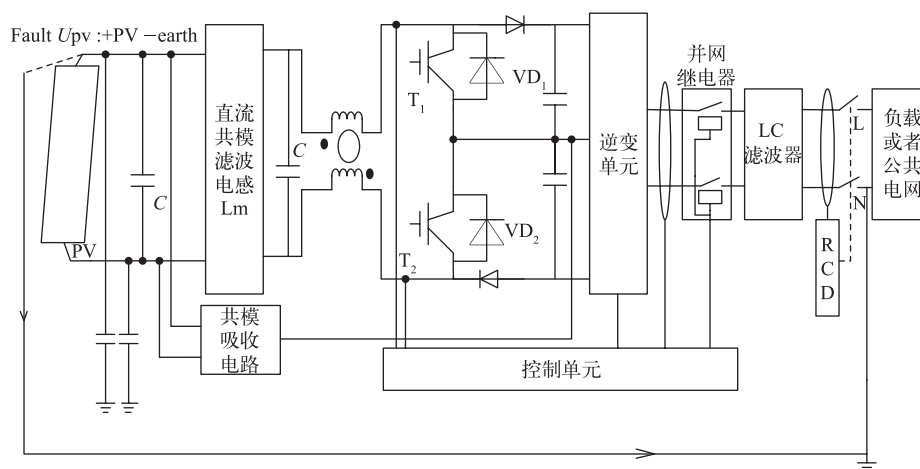


图1 无变压器非隔离逆变器并网光伏系统

断路器选型的影响因素

在光伏系统中，断路器选型的影响因素包括：

①光伏发电系统的电气特性，光伏系统直流侧光伏组件的电压和功率等级以及光伏并网侧的并网电压源的电压等级和频率；②光伏发电系统的安装环

境，包括安装位置的温度及海拔高度等环境因素；③光伏发电系统的并网功率和负载类型。

1. 断路器应用的环境温度

对于光伏发电系统断路器的应用选择，环境温度是最最重要的一个考虑因素，即环境温度对断

路器在光伏发电系统中的可靠运行至关重要。环境温度对断路器可靠性运行的影响具体可参考IEC 60947—2016《低压开关设备和控制设备第2部分：

断路器》中所规定的断路器在不同环境温度下的降额/增加电流值，见表1。

表1 不同环境温度下断路器的降额/增加电流值表

额定电流/ A	环境温度/℃												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
16	18.4	18.1	18	18	17	16.6	16	15.6	15.2	14.8	14.5	14	13.8
25	28.8	28	27.5	25	26.3	25.6	25	24.5	24	23.5	23	22	21
32	36.8	36	35.2	34.4	33.6	32.8	32	31.3	30.5	30	29.5	29	28.5
40	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34
50	57.5	56	55	54	52.5	51	50	49	48	47	46	45	44
63	72	71	69	68	66	65	63	61.5	60	58	57	55	54
80	92	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72	70	68
100	115	113	110	108	105	103	100	97.5	95	92.5	90	87.5	85
125	144	141	138	134	131	128	125	122	119	116	113	109	106
160	184	180	176	172	168	164	160	156	152	148	144	140	136
200	230	225	220	215	210	205	200	195	190	185	180	175	170
250	288	281	277	269	263	256	250	244	238	231	225	219	213

由表1可知，光伏发电系统应根据现场环境温度和系统电流大小选择合适的断路器设备，避免选择的断路器额定值过小误跳影响光伏发电系统的运行连续性。

2. 并排安装断路器对温升的影响

对于具有多个逆变器的大型太阳能光伏电站，配电盘中通常有多个断路器，这些断路器紧挨着安装，将同时提供最大电流，因此断路器的运行温度度将更快地相互影响，可能导致过早跳闸。如图2所示。

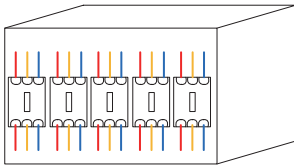


图2 多断路器并排安装

当光伏发电系统并联安装多个断路器时，需要考虑断路器的降额校正应用，校正系数见表2。

表2 并联安装断路器的降额校正系数

并排安装断路器台数/台	降额系数
1	1
2, 3	0.9
4, 5	0.8
≥6	0.75

3. 海拔因素的影响

我国太阳能资源主要分在西部海拔2 000 m以上

的地区，高海拔地区气压低、气温低的自然条件，使低压电器在使用时受到限制。由于发热与载流量的变化以及受海拔高度变化的影响，断路器工作时的散热能力减弱。因此，随着海拔高度升高，断路器的载流能力相应下降。

另外，高原地区的低气压、低空气密度将延缓低压电器分断后的熄弧时间，加剧了触头的烧蚀。低压产品的接通和分断能力受限。并且随着海拔的升高，空气压力和密度减小，空气介质的对流能力相应降低，直接使产品的温升升高。

通断能力对电气寿命的影响。电气寿命作为产品的一项综合指标，受到产品的分断性能、短路分断性能、操作频次及灭弧性能等的综合影响。在高海拔环境下，没有做降容计算处理前，温升升高及接通分断能力下降都会影响低压产品的电气寿命，但是降容使用后均不受影响。所以，光伏发电系统应用的低压配电断路器产品必须降容使用。以某低压电气公司制造的TGB1N断路器型号为例，海拔降容系数见表3。

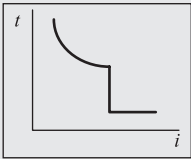
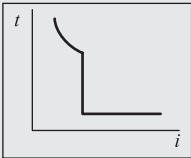
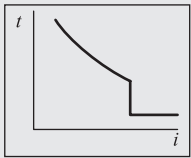
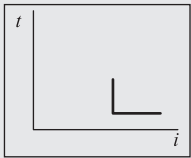
表3 安装海拔因素下的电流降容系数

海拔/m	≥2 000	≥3 000	≥4 000	≥5 000
工频耐压/V	3 000	25 00	2 100	1 800
绝缘耐压U _i /V	800	700	600	500
最大工作电压U _e /V	690	600	500	440
电流降容系数	1	0.97	0.95	0.93

4. 断路器的保护曲线类型

光伏发电系统连接到电网，选择并网断路器时需要考虑该电网中的负载和设备类型，以便选择最合适的选项，避免因负载馈线网络的电流和电压影响导致跳闸。见表4。

表4 保护曲线类型及应用

保护曲线	保护曲线类型	应用
	B型	一般是用于变压器测的二次回路的保护
	C型	最常用的一种家用断路器，一般用于建筑照明等
	D型	适用于一些有很高冲击电流的地方，如电动机，配电等
	电动机保护型	带接触器和热继电器过载的电动机保护

光伏发电系统一般选用C型或者D型保护曲线的断路器。假如系统中存在变压器之类的电气设备，在断电以后会有一个冲击电流，建议选择D型断路器；如果没有可选择C型断路器。

并联系统示例

以6个SG33CX-P2-CN型号逆变器构建的光伏电站，介绍光伏发电系统并联运行配电断路器的热额定值选型。具体如图3所示。

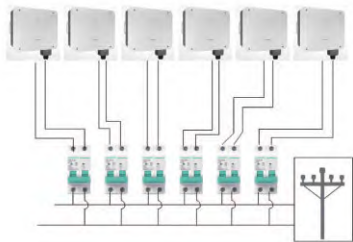


图3 光伏逆变器（6组）并网示意图

光伏逆变器的输出参数可从SG33CX-P2-CN逆变器的数据手册中查询到，最大输出电流为55.2 A。在该示例中，假设所选铜制电缆（截面积为10 mm²）具有理想的布线，能够承受66 A的标称电流。接下来进行分析如何正确选择并网保护断路器。

假设所选的示例系统的负载中没有电动机和变压器等，基于55.2 A的计算电流，选择63 A断路器，热保护曲线类型为C，而且断路器之间没有间隙。根据上述的光伏发电系统断路器选型影响因素规范，通过计算来验证选择的断路器是否合适。

1) 基于元器件可靠性以及延长使用寿命的要求，断路器的负荷系数在光伏发电系统满负荷运行超过1 h的情况下，断路器负荷系数降额系数选为0.9。

2) 如果使用一个断路器，或者每个断路器之间的距离足够，选择的系数等于1。在光伏发电系统成本因素和安装空间的要求下，配电柜的尺寸逐步减小，在现场一般采用并排紧凑安装的方式。6个断路器直接相邻布置时的降额系数为0.75。

3) 当环境温度为40℃时，断路器的额定电流的降额系数可选用1。

根据以上三个因素可计算断路器无故障运行的最大载流量

$I=63 \times 0.9 \times 0.75 \times 1.0=42.525 \text{ A}$

计算所得断路器无故障运行的最大电流远小于光伏逆变器的最大运行输出电流值55.2 A，可见选用额定电流值为63 A规格的断路器是不符合要求的。

结束语

方案1：选用额定电流为80 A的断路器，而且断路器之间有足够的散热空间（>10 mm），最大载流能力为64.8 A（ $I=80 \text{ A} \times 0.9 \times 0.9=64.8 \text{ A}$ ），大于光伏逆变器的最大运行输出电流值55.2 A，断路器在额定操作下满足稳定运行且不会跳闸。

方案2：使用100 A断路器，且相邻断路器之间有的散热空间<10 mm，最大载流容量为67.5 A（ $I=100 \text{ A} \times 0.75 \times 0.9 \times 1=67.5 \text{ A}$ ），大于光伏逆变器的最大运行输出电流值55.2 A，断路器在额定操作下满足稳定运行且不会跳闸。

（下转第66页）

识别准确度为89.92%，对照组Ⅱ的识别准确度为79.65%。从三组识别方法的准确度可以得出，基于HHT算法的固体绝缘开关柜局部放电智能识别方法具有相对较高的识别准确度，能够在一定程度上解决开关柜内局部放电问题。

表2 不同识别方法的识别精准度

序号	样本数量/份	识别正确数量/份		
		实验组	对照组Ⅰ	对照组Ⅱ
1	48	47	42	44
2	44	44	40	39
2	46	45	38	40
4	45	43	42	36
平均准确度（%）		97.68	89.9	79.65

结束语

本文提出的改进HHT算法的开关柜局部放电智能识别方法具备一定的准确度，而且可以大致确定局部放电的时间，由于端点效应的存在，时间分界线难于精确定位，还有待进一步提高。HHT算法能够为局部放电的识别提供良好的技术支持。EA

(收稿日期：2023-07-20)

参考文献

[1] 冯旗，邵振华，余祉宏．基于PRPD图谱的气体绝缘开关柜多缺陷局部放电模式识别[J]．电气应用，2023，42(6)：48-54.

[2] 王婷婷，丁浩，张周胜．基于深度学习和多模型融合的局部放电模式识别方法[J]．电力工程技术，2023，42(3)：188-195.

[3] 徐晓刚，侯春光，陈正擎．基于超高频和声学成像联合检测的开关柜局部放电研究[J]．电器与能效管理技术，2023(4)：34-39.

[4] 朱超越，徐良荣，戚伟，等．基于K平均最近邻法的开关柜现场验电安全检测[J]．分析仪器，2023(1)：84-89.

[5] 黎阳羊，胡金磊，赖俊驹，等．基于均值漂移聚类的开关柜局部放电异常检测[J]．电气传动，2022，52(10)：63-69.

[6] 唐波，邱浩宇，吴慧娟．高压电缆接头局部放电声光联合检测系统设计与实现[J]．电气应用，2021，40(5)：10-20.

(上接第 51 页)

光伏发电系统一直在追求与火电平价上网，成本是其中一个很大的考量因素。上述方案1是主要的选型方案，断路器可在逆变器发电系统中运行平稳。从实际的运行效果来看，本文所研究分析的选型方案是切实可行的。EA

(收稿日期：2023-07-19)

参考文献

[1] 孙海涛，韩志刚，刘毅．1 500 V直流光伏发电系统中塑壳断路器的性能研究[J]．太阳能，2022(3)：70-76.

[2] 尹天文，高孝天．双碳背景下低压电器行业发展思考[J]．电器与能效管理技术，2023(1)：1-7.

[3] 马钊，张恒旭，赵浩然，等．双碳目标下配电系统的新使命和新挑战[J]．中国电机工程学

报，2022(19)：6931-6945.

[4] 王鹏，韩筛根，林涛．应用于光伏发电系统的专用断路器[J]．低压电器，2013(22)：57-60.

[5] 伍仁库，江亨湖．IEC60947-2：2016断路器标准研究[J]．大众标准化，2019(12)：66-67.

[6] 侯婉秋，焦俊平．高海拔对低压电器产品的影响与对应措施[J]．青海大学学报（自然科学版），2019，27（6）：23-26.

[7] 秦海．高海拔条件下的光伏逆变器降容要求[J]．电子测试，2017(23)：110-111．

[8] 翁国璋，王智亮．低压断路器三段保护的延时时间可调的必要性分析[J]．现代建筑电气，2019，10(12)：12-13.

[9] 鲍国栋．电动机保护断路器选择探讨[J]．现代建筑电气，2020，11(10)：8-13.