分布式太阳能电源对配电网继电保护影响及对策措施

文/广东律诚工程咨询有限公司　黄行飞

随着我国经济的不断发展，能源及环境问题更加突出，成为当前需要重点解决的难题之一。光伏发电电源的应用极大地缓解了该问题，其环保、高效的优势，使其在配电网中的应用受到极大关注。但是，分布式太阳能光伏发电电源接入后，使得配电网的结构发生了很大的改变，导致继电保护可能出现拒动、误动等不正确动作。对此，必须采取有效的措施改进配电网的继电保护，满足接入分布式太阳能电源的要求。

传统配电网的继电保护配置

故障隔离、故障切除以及恢复供电是配电网的继电保护所必须达到的基本要求，能有效地保障配电网供电的可靠性。就我国目前现有的配电保护情况来看，出于经济性考虑，主要有3种配电网保护模式。简单地说，电流速断保护就是在配电网的电流突然升高时，通过跳闸等动作发挥保护作用，从而降低损害。除了该模式外，具有保护作用的模式还有定时限过电流或限时电流速断保护。这3种模式的最大区别在于启动电流的差别，因此，在实际工作中，通常会选择将这3种保护配置组合在一起或同时使用，以便迅速地切除故障。

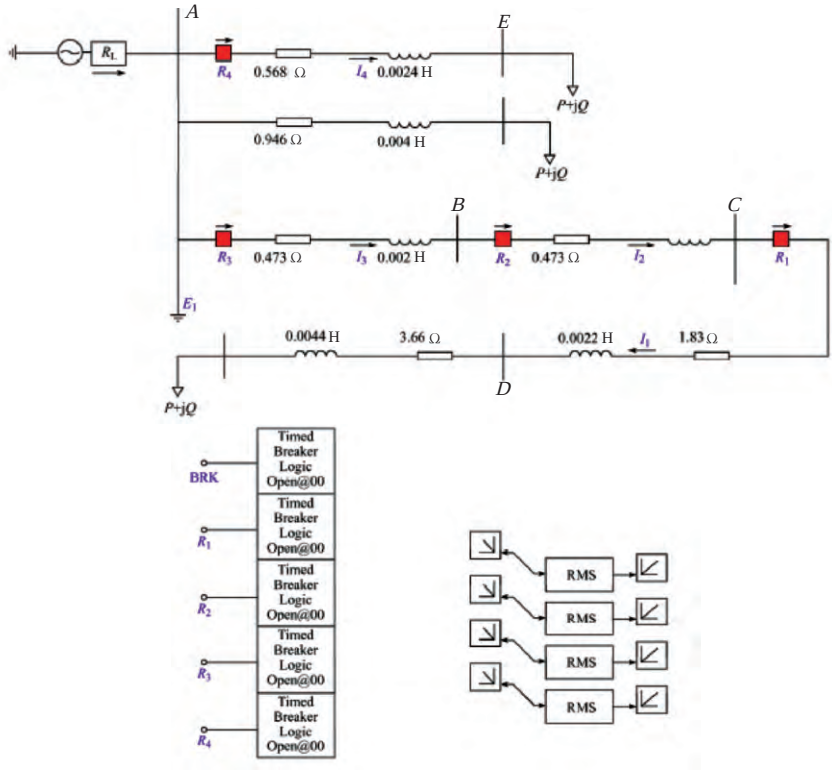

图1 10 kV馈线系统简化模型

三段式电流速断既有其优势，同时也存在着一定的缺点，它会随着电力系统的运行方式和电网接线等的变化而变化，使得其无法满足灵敏系数和保护范围的要求，但是由于这种方式操作简单、可靠性较强，而且能够较快地切除故障，因而三段式电流保护在35 kV及以下电压的配电网中使用较多，能够起到较好的效果。

接入分布式太阳能光伏发电电源的影响

为增加对接入分布式太阳能电源的了解，其对配电网的机电保护的影响，可以主要从以下几个方面

进行分析。

多目标函数模型的研究

1．未接入分布式太阳能电源时的配电网故障仿真

要有效了解这种发电方式，仿真模拟是最好的研究方式，因为不同情况下的分布式太阳能电源会对配电网的机电保护装置产生不同的影响，所以通过选取某变电站作为实例，对其进行分析，以增加对分布式太阳能电源的认识。根据该变电站的具体情况和系统参数，在简化了10 kV馈线后，使用EMTDC/PSCAD建立了配电网故障仿真模型，系统基准容量设置为500 MW，并将馈线保护分别安装在图1的A、B、C处。

在该模型中，每段线路上所装的保护分别为R_1、R_2、R_3、R_4，通过对其进行仿真操作，在不接入DG的情况下，也就是正常状态下，R_4处的电流为2.010 kA，R_1、R_2和R_3处的电流在0.610 kA左右。但是如果在B、C、D和E等位置发生了三相短路故障，通过该系统对其进行仿真，可以得到如表1所示的数据。

2．不同容量接入对保护的影响

在仿真模拟的过程中，假设光伏电源PV_1接在馈线母线C处，其容量分别选择为500 kW、1 MW、6 MW以及10 MW，如果在接入DG的情况下，在B位置出现三相短路故障，可以测得如表2所示的电流数据。

3．不同位置接入对保护的影响

如果将光伏发电电源PV_1接在主馈线的母线B处，将PV_2接入母线C处，接入时的容量分别设置为6 MW，通过仿真可以测得这两个光伏发电电源接入在不同位置，发生三相短路故障时各保护装置的短路电流，其具体短路电流数据如表3、表4所示。

4．分布式太阳能光伏发电电源的接入影响探讨

通过研究可以发现，馈线接入系统是光伏发电系统的主要接入方式，在其发生故障时，接入光伏发电电源的配电网与不接DG时的故障电流大小和分布都存在较大差别。因为DG会对故障电流产生分流或者助增的作用，所以在故障发生时，经保护装置的故障电流，既有可能会减少，也有可能会增大，会使得原来的灵敏度和保护范围发生改变，从而影响保护装置之间的相互配合程度。就上述仿真结果来看，分布式太阳能电源会主要从以下几个方面对配电网的电流保护造成影响。

1）首先可以假设当故障发生的位置是在保护的上游时，如果故障点位于DG接入点的下游，将不会有短路电流经过这些继电保护装置，由此可以发现DG的接入位置并不会对保护装置的短路电流造成影响，与流经该保护的短路电流并没有直接关系，从上面的仿真实例中可以看到，如果故障发生在C点，无论将DG接入B点或C点，都不会有短路电流流经保护R_1，R_1的整定值也不会因此受到影响。

2）如果故障发生在DG所在馈线的上游，随着DG介入容量的改变，流经保护的短路电流也会随之发生改变，从而导致DG所在馈线的线路保护发生误动作，在上述仿真实例中，如果将PV_1接入馈线BC段，在AB段中的任意位置发生三相短路故障，都会使得PV_1的反向故障电流流经保护R_2。表2中在接入光伏发电电源PV_1，而且容量足够大的情况下，反向故障电流约为6 kA，在没有接入DG时，C点发生故障的最大断流电流会对保护R_2的整定值起到决定性作用，其数值约为3.267 kA，电流速断保护动作值明显比没有接DG时要大。另外，保护R_3的电流与DG的接入无关，说明故障点的位置是影响其大小的主要因素，动作值并不会因此发生变化。

3）如果是DG接入线路的相邻线路发生故障，电流会流向各个故障点，使得线路保护发生误动。在上述仿真实例中，电源PV_1接在馈线BC出口处时，以AE段的E点为例，该位置与PV_1并没有在同一条线路上，所以在其影响下，保护R_4不仅会有系统电流流经，同时还会有反向的DG电流经过，对保护动作造成影响。如表1和表3数据所示，假设故障点在E处，在未接入DG的情况下保护R_4的电流明显较低，也就是说PV_1的接入，会使得保护R_4的电流值增大，其灵敏性也比没有接入DG时高，会对保护R_4的动作造成影响。但是接入DG时的保护R_3，流经保护的反向电流为0.6 kA，若PV容量较大，很容易导致R_3出现误动。

4）从PV接入的馈线来看，如果接入位置不同或DG的容量大小有差别，都会对该段馈线的保护

表1　未接入分布式太阳能电源时短路电流

短路位置	R_1电流/kA	R_3电流/kA	R_4电流/kA
B点	0.004	6.277	1.885
C点	0.003	3.267	1.956
D点	1.552	1.552	1.986
E点	0.589	0.589	5.462

表2　接入不同容量分布式太阳能电源PV_1时短路电流

PV_1/MW	R_1电流/kA	R_2电流/kA	R_3电流/kA	R_4电流/kA
0	0.004	0.004	6.277	1.885
0.5	0.706	6.244	6.113	1.886
1	0.706	6.408	6.227	1.887
20	0.706	6.577	6.342	1.887
6	0.706	6.408	6.227	1.887

表3　接入容量为6 MW的PV_1时短路电流

短路位置	R_1电流/kA	R_2电流/kA	R_3电流/kA	R_4电流/kA
D点	2.071	2.071	0.143	2.028
C点	0.001	6.531	0.321	2.028
E点	0.696	0.696	0.598	5.515

表4　接入容量为6 MW的PV_2时短路电流

短路位置	R1电流/kA	R2电流/kA	R3电流/kA	R4电流/kA
B点	0.706	6.408	6.227	1.887
D点	2.816	0.058	0.058	2.027
E点	0.764	0.319	0.319	5.510

灵敏度造成影响，甚至有可能导致保护拒动。若将PV_1接在馈线BC的出口处，在D点发生故障时，保护R_1会根据保护的选择性原则进行故障切除。故障点D除了由PV_1提供外，还有系统侧电源为其提供电流，在上述分析中已经提到，由于接入PV_1的接入，会使得保护R_1的的故障电流明显比接入前增大，而这种电流的增大，会使得R_1的灵敏性进一步加强。如果在馈线BC段的C位置处有故障发生，与接入前相比，C处的故障电流会增大，PV_1的接入增加了一条支路分流，但是保护R_2只感受到了系统侧电源所提供的故障电流，因而会对保护R_2的灵敏性产生影响，在PV_1容量较大的情况下，会直接导致保护R_2拒动。

5）DG的接入会使得线路保护的保护范围也随之发生改变，在没有接入PV时，如果在C点发生故障，R_2会动作跳闸隔离故障，即使R_2出现拒动也会有R_3作为后备保护进行跳闸隔离故障。但是当DG接入C点后，同样是在C点出现故障，在接入DG后，由于新的分支电路的产生，会使得原电路中的电流减少，导致保护R_3的电流减少。通过对表4的数据进行分析可以发现，与没有接入故障电流相比，在C点出现故障时，流经保护R_3的电流会随之减少，因而其保护范围也会因此缩小，这是实际操作中比较常见的问题。

6）除了上述几个方面的影响外，随着DG容量的增大，保护也会因此而失去选择性，出现各种误动。如果只在馈线的C点上接入DG时，在故障发生在CD段时，根据保护的选择性原则，保护动作应该由R_1完成，但是如果DG的容量非常大，会导致R_2的保护范围发生改变。如果故障发生在D点，由于流经R_1、R_2的电流超过了自身的动作电流，在其动作原理的作用下，两个保护都会同时实施保护作用，从而使其失去选择性，引发各种问题。

应对措施

为解决上述存在的问题，设置的新型继电保护装置，具有高速通信功能，能够极大地改善继电保护的性能，使其作用得到充分发挥，不仅能够及时准确地切除故障，还可以缩短动作时间。经过上述研究分析得出，在馈线上两侧安装有方向元件的保护，能够有效提高保护的选择性和可靠性，具体设计情况如图2所示。

通过上述仿真实例分析可以发现，如果故障发生在DG的上游，也就是短路发生在K_1点，由于受到G接入的影响，原来单侧电源供电的方式会转变为多个电源供电，因此，在DG容量足够大的情况下，R_2、R_3、R_6和R_7都会有大于其动作电流的短路电流经过，在这种情况下，R_3、R_6、R_7的方向元件也会随之启动，只有保护R_2的方向元件不会启动，从而使得故障位于保护R_3和R_7之间，通过R_3和R_7的无延时跳闸，可以有效起到切除故障的作用，从而达到预期的效果，减轻故障造成的影响。

如果故障发生在DG接入点的下游，也就是短路发生在图2中的K_2点，R_1、R_2、R_3、R_5、R_6和R_7的短路电流会大于其自身的动作电流，除了R_6和R_7的方向元件不会启动，其他保护的方向元件都是随之发生启动，从而将短路故障确定在R_1和R_5之间，通过这两个保护的动作跳闸，实现故障切除。

如果故障是发生在DG相邻的馈线，如图2中的K_3点，当故障发生在该位置时，AE两端保护的方向元件会随之启动，但是其他线路都只会有一端方向元件发生启动，从而将故障确定在保护R_4和R_8之间，并通过跳闸动作切除故障。

将这种新型继电保护装置运用于配电网中，能够充分发挥其高速通信的功能，准确掌握故障位置，并及时有选择而行地进行跳闸和故障切除，从而减少对配电网的不利影响，保障保护的可靠性。

结束语

总的来说，光伏发电电源不仅能够有效提高供电的安全性和可靠性，还可以有效改善环境，减少环境污染。因此，作为相关技术人员，应深入研究其对配电网继电保护的影响，通过采取有效的应对措施来对其进行优化和改进，从而更好地适应配电网的运行需要，确保电网供电的稳定性。EA

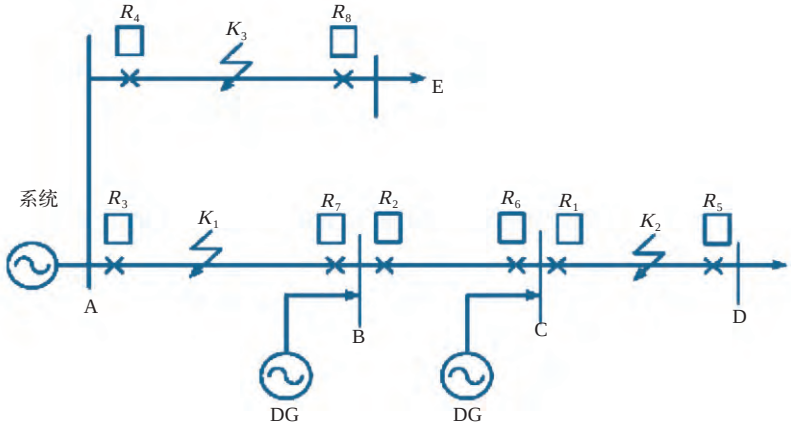

图2 新型继电保护在接入DG配电网中的应用