

[继电保护]

分布式光伏发电继电保护配置的研究

文/罗朋 刘林
四川省建筑设计研究院有限公司

分布式光伏发电是一种清洁能源发电技术，不仅能更有效地利用空间，还能减小我国对电能的需求和环保压力。但是，由于分布式光伏电站的电能受天气等因素的影响，因此并网分布式光伏电站供电的稳定性和安全性备受关注。通过理论分析、研究分布式光伏发电对配电网继电保护的影响，从而完善继电保护配置，保证分布式光伏电站与系统的稳定运行。

分布式光伏发电最广泛的是指建在建筑屋顶上的光伏发电项目，根据符合地区实情、高效无污染、布局分散和就地利用原则，充分利用太阳能代替和减少化石能源的消耗。与相同规模光伏电站相比，分布式光伏电站有效增加了发电量，而且还有效解决了电压升压和长途输送电力产生的电能损耗问题。分布式光伏发电通常以用户侧自发自用、余量上网为主。随着2013年《国家发展改革委关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》对分布式发电执行0.42元/(kW·h)的电价补贴，《全国国土规划纲要（2016—2030年）》提出因地制宜推进新型太阳能光伏和光热发电，国家发改委发布《“十四五”支持革命老区巩固拓展脱贫攻坚成果衔接推进乡村振兴实施方案》支持有条件的地区加快推进屋顶分布式光伏发电建设等一系列国家政策的出台，分布式光伏发电进入高速增长期。然而，由于越来越多的分布式光伏发电并入配电网，使配电网的结构、短路电流及稳定安全都受到了很大影响，对分布式光伏并网电站的继电保护配置造成严重的困扰。因为继电保护的配置至关重

要，能够有效地控制故障范围，使系统更加安全、稳定和可靠，所以对分布式光伏并网电站进行故障分析及继电保护配置的研究具有重要意义。

分布式光伏发电接入10（6）kV~35 kV配电网故障分析及继电保护配置

传统电力系统的配电网是单一流向、放射型的单端电源网络结构，因此10（6）kV~35 kV电压级配电网的继电保护装置以不带方向的阶段式电流保护为主。但是分布式光伏电站接入配电网后，原配电网由单电源网络结构变为双电源或多电源网络结构，当电网发生短路故障，不仅系统向故障点提供短路电流，而且光伏电站也向故障点提供短路电流，使故障点短路电流的大小和方向都发生改变，因此可能导致配电网原有的继电保护装置拒动或误动。随着配电网大规模接入光伏电站，原有的继电保护配置方案已不能很好地保护电网，对于电网来说是一个很严重的问题。

根据分布式光伏电站容量的大小，一般以35 kV及以下电压等级并网。以广东某铝业

基金项目：四川省建筑设计研究院有限公司科研项目，碲化镉发电玻璃专用逆变器系统的研究（KYYN 202317）

80 MW分布式光伏发电10 (6) kV~35 kV系统接线方案为例,分析、研究分布式光伏发电的继电保护配置。一部分光伏发电就地消纳后以10 kV电压

等级并入用户1高压10 kV母线,另一部分直接升压至35 kV汇集后接入就近变电站35 kV母线全电上网,系统接线图如图1所示。

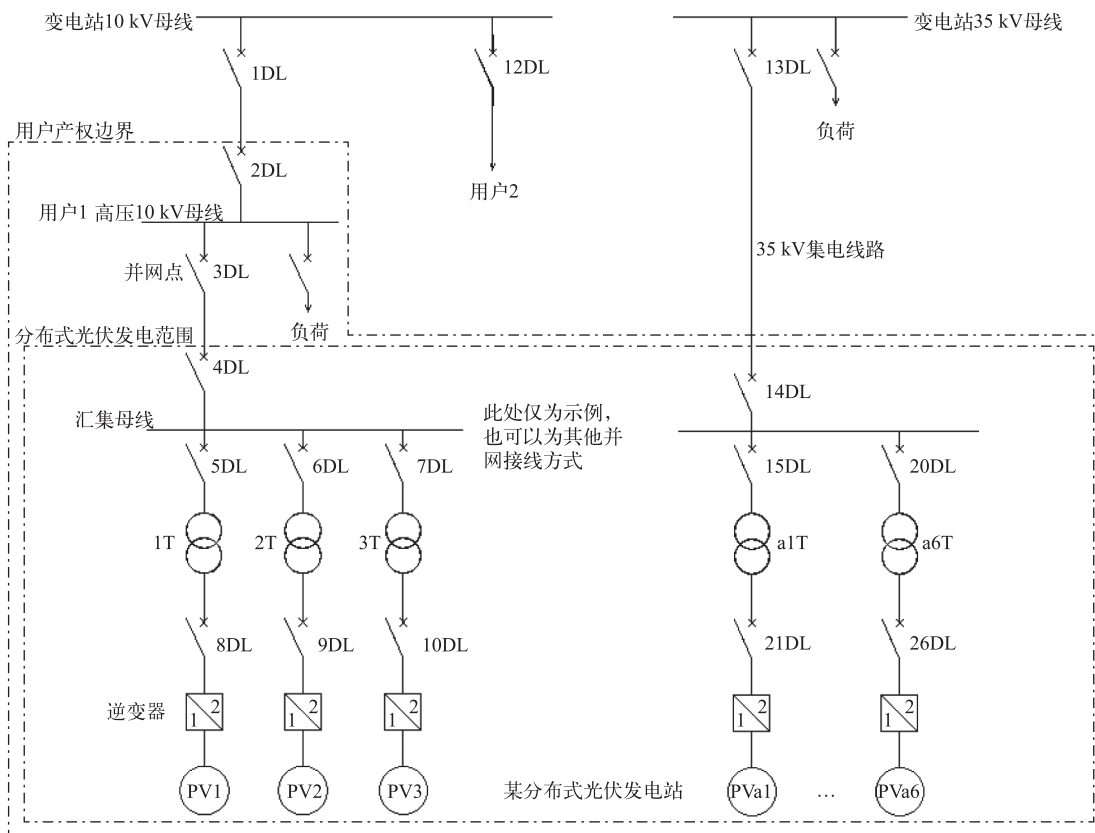


图1 分布式光伏发电接入10 (6) kV~35 kV系统接线图

当用户1的高压10 kV进线线路d1 (见图2) 处发生短路故障,电网和光伏发电都向故障点提供短路电流,有保护断开1DL和2DL断路器切断短路电流,如图2所示。

由于当用户2的线路d2处 (见图2) 发生短路故障时,光伏电源也向短路点提供短路电流,流过1DL断路器,若光伏发电容量足够大,而1DL处的保护不设置方向元件,可能导致1DL断路器误动作。在用户1的高压10 kV进线线路变电站侧1DL断路器处设置带方向的电流速断保护和过电流保护来反映相间短路故障,电流保护动作以指向线路为正方向,指向母线方向应闭锁动作。当采用带方向的电流速断保护不能满足灵敏性要求时,应设置光纤纵联差动保护做主保护,带方向的过电流保护作为后备保护。

在用户1的高压10 kV进线线路用户侧2DL断

路器处应设置带方向的阶段式过电流保护。当用户用电大于分布式光伏发电总容量时,电流保护动作以指向线路为正方向,指向母线方向应闭锁动作,电流保护定值整定为110%~120%分布式光伏电源额定电流。当系统出现过/低电压、过/低频率故障时,能够及时断开光伏发电与电网的联系,还应设置故障解列保护,定值按DL/T 584要求整定。

当分布式光伏发电并网线路d3处 (见图2) 发生短路故障,电网和光伏电源也都向故障点提供短路电流,有保护断开3DL和4DL断路器切断短路电流。

在分布式光伏发电并网线路用户侧3DL并网断路器处设置带方向的阶段式过电流保护断开3DL断路器,电流保护与变电站侧1DL断路器处的保护相配合,以指向分布式光伏电源为正方向,必要时可经方向闭锁。设置自动重合闸保护,3DL断路器跳闸后是否启动自动重合闸可按用户需求考虑。如

果启用自动重合闸，可通过检无压或检同期方式重合闸，延时与变电站侧1DL断路器处重合闸的相配

合，具有后加速功能。

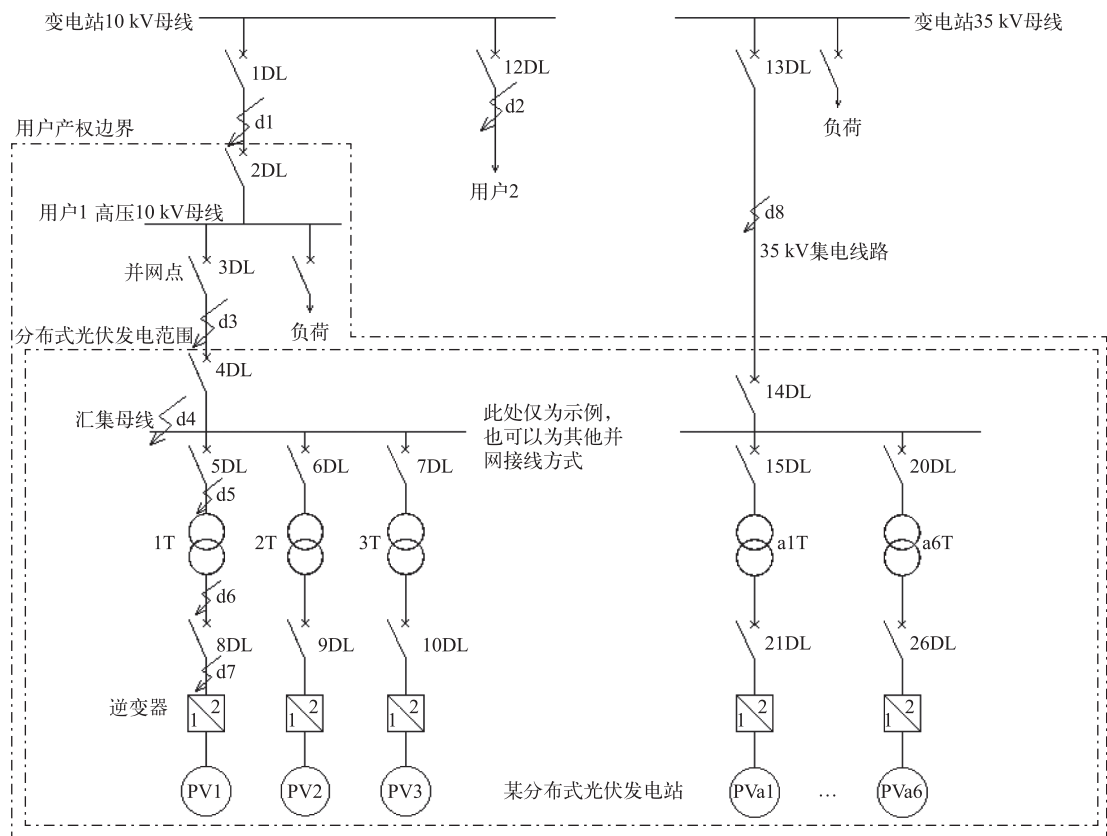


图2 分布式光伏发电接入10(6)kV~35 kV系统故障点位图

由于分布式光伏发电不允许孤岛运行，当配电网任何故障导致系统电源切除后，光伏发电都必须退出运行。为了减少光伏发电继电保护装置的投资，可在分布式光伏发电并网线路汇集母线侧4DL断路器处设置不带方向的电流速断保护和过电流保护来跳开4DL断路器，不会降低原配电网的可靠性，还减少了投资成本。

(1) 汇集母线保护

当分布式光伏电源汇集母线d4处（见图2）发生短路故障，电网和与之相连的所有光伏电源都向故障点提供短路电流，有保护断开4DL、5DL、6DL和7DL断路器切断短路电流。

在汇集母线处设置专用母线保护，母线保护应具有差动保护、过电流保护、CT和PT断线检测告警、复合电压闭锁以及抗CT饱等功能，还应具有其他保护动作联跳本母线相连的所有断路器的功能。

(2) 变压器保护

当分布式光伏电源PV1的升压变压器1T高压侧

d5、低压侧d6处（见图2）及内部发生短路故障，应有保护断开5DL和8DL断路器来切断短路电流。

在变压器高压侧装设变压器保护装置，配置电流速断和过电流保护来断开5DL断路器。变压器低压侧的短路保护可以通过8DL断路器的电流脱扣器来实现。

当变压器由于故障温度升高，为了保护变压器不至于温度过高而损坏变压器，变压器配置非电量（超温）保护来断开变压器两侧断路器。

(3) 集电线路保护

当35 kV集电线路d8处（见图2）发生短路故障，电网和光伏发电都向故障点提供短路电流，有保护来断开13DL和14DL断路器切断短路电流。

在集电线路汇集母线侧14DL断路器处装设一套线路保护。线路保护设置阶段式过电流保护，选配阶段式相间距离保护，反映相间短路故障。

对于中性点经低电阻接地的系统，设置两段式零序电流保护反映单相接地短路故障，动作于跳闸。

(4) 逆变器保护

当分布式光伏电源PV1的逆变器交流侧d7处(见图2)发生短路故障,逆变器能自保护而不至于损坏,逆变器配置交流输出短路保护,动作于跳闸,跳闸时间应小于0.1 s。此外,逆变器配置下列保护:

1) 逆变器配置交流频率和交流电压保护, 动作于跳闸。B类逆变器因频率或电压异常跳闸, 频率和电压恢复到允许范围后, 光伏逆变器应经过20 s~5 min时间的延迟才能恢复并网。A类逆变器因频率或电压异常跳闸, 根据当地电网要求决定是否自行恢复并网。当不允许自行恢复并网时, 逆变器恢复并网由光伏电站的功率控制系统控制。

2) 逆变器配置直流过载、过电压和交流缺相保护, 动作于跳闸。

3) 当光伏方阵的直流电缆极性与逆变器的直流

端子极性接反后,逆变器自保护而不损坏,逆变器配置直流极性接反保护。极性接好后,逆变器恢复正常运行。

4) 当逆变器在关机状态或直流输入电压低于最低工作电压时, 为保证逆变器侧无反向直流电流流出, 逆变器配置反放电保护。

5) 为防止分布式光伏电源孤岛运行, 逆变器具备防孤岛保护能力, 当检测到孤岛后, 防孤岛保护在 $t \leq 2$ s 时间内动作断开光伏发电与电网的连接, 并发出报警信号, 与系统的线路保护相互配合。

6) 为防止逆变器遭受雷击而损坏, 逆变器设防雷保护装置。逆变器各保护的性能应满足NB/T 32004 (《光伏并网逆变器技术规范》) 最新规定。

综上, 可得分布式光伏发电接入10(6)kV~35 kV配电网系统的继电保护配置图, 如图3所示。

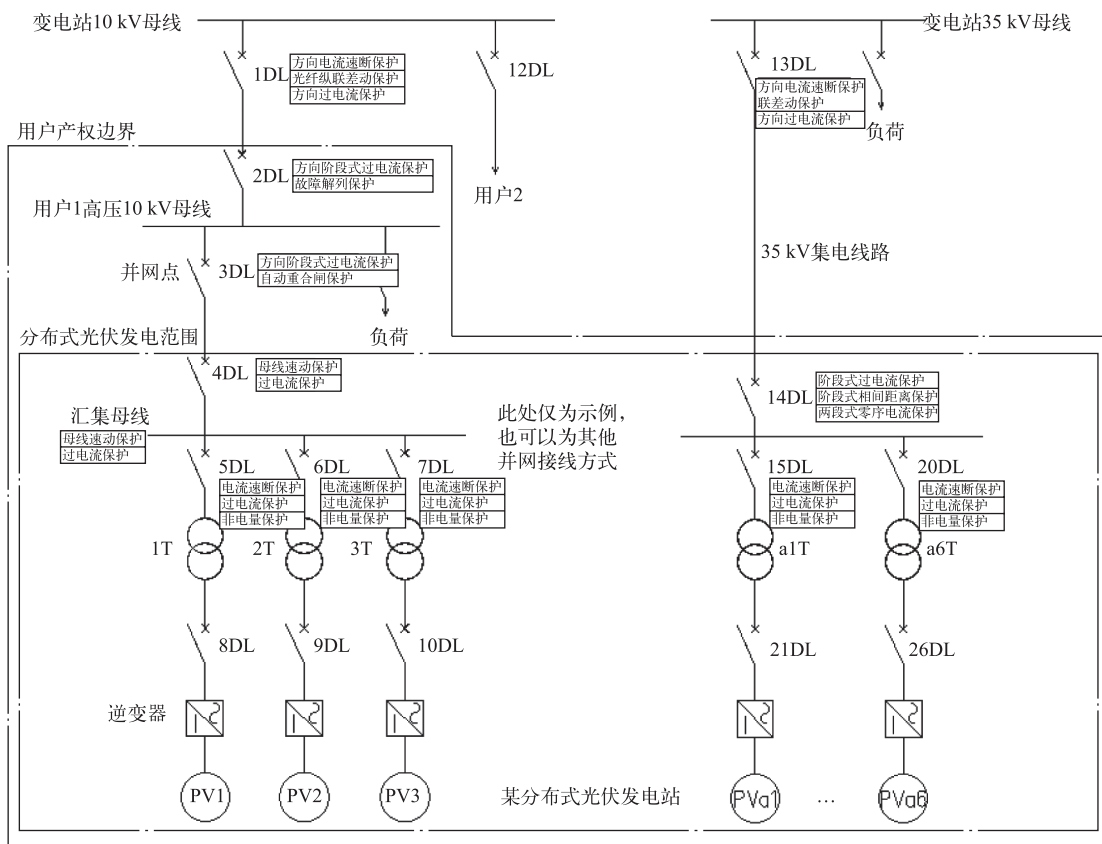


图3 分布式光伏发电接入10(6)kV~35 kV系统继电保护配置图

分布式光伏发电接入380 V配电网故障分析及保护配置

户用光伏发电主要以380 V (220 V) 接入配电

网,以典型接线方案为例,分析、研究户用光伏发电的保护配置。典型系统接线图如图4所示。故障点位图如图5所示。

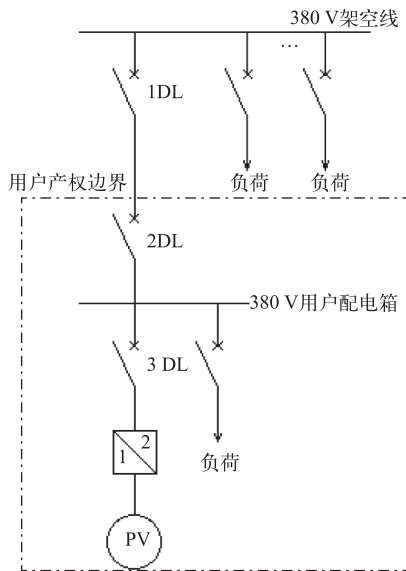


图4 分布式光伏发电接入380 V系统接线图

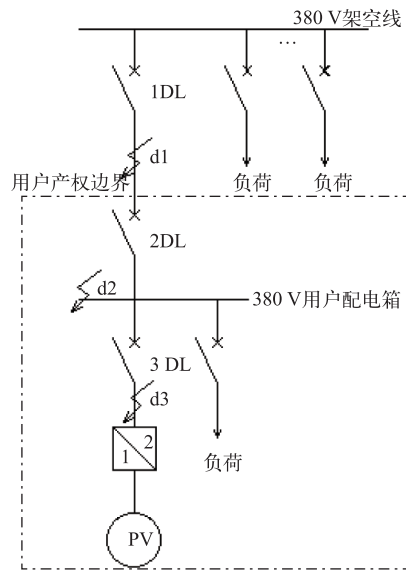


图5 分布式光伏发电接入380 V系统故障点位图

具体短路点分析如下：

1) 当380 V用户电网进线d1处（见图5）发生短路故障时，380 V用户电网进线用户侧2DL断路器能够瞬时动作跳开切除光伏电源与故障点的联系。

2) 当380 V用户配电箱母线d2处（见图5）发生短路故障时，380 V用户电网进线用户侧2DL断路器与光伏电源出口3DL断路器均瞬时动作将故障点与电网和光伏电源隔离，以免扩大故障。

3) 当光伏电源逆变器出口交流侧d3处（见图5）发生短路故障时，光伏电源出口3DL断路器瞬时跳开以隔离光伏电源与电网的联系，使电网继续向用户供电。

为保证当线路发生各种类型短路故障时，保护应能迅速动作跳开断路器，满足发生全线故障时快速可靠地切除故障要求，用户侧低压进线2DL断路器和分布式光伏电源出口处3DL断路器具备短路长延时、瞬时与分励及欠电压脱扣保护功能。

保护要求：

1) 电压、电流和时间等保护定值应满足最新GB 50054的要求。

2) 必要时，2DL或3DL断路器处的有关保护除了与配电网侧低压1DL总断路器处的保护相互配合，与用户内部配电相互配合。

结束语

近年来，分布式光伏发电作为一项新的发电技术，有着巨大的发展潜力。必须要充分了解配电网接入分布式光伏发电项目后受到的具体影响，以及对继电保护产生的影响。为保障光伏发电稳定运行，立足于发展的实际，不断进行继电保护配置的研究与探索，使继电保护配置更加正确完善，让分布式光伏发电在我国电网中成为不可或缺的一部分。EA

（收稿日期：2023-11-09）

