

# 新疆电网光伏电站并网参与系统调节的讨论

钟 显<sup>1</sup> 樊艳芳<sup>1</sup> 常喜强<sup>2</sup> 王 衡<sup>2</sup> 周 专<sup>1</sup>

(1. 新疆大学电气工程学院 新疆 乌鲁木齐 830047; 2. 国网新疆电力调度控制中心 新疆 乌鲁木齐 830006)

**摘要:** 当今世界正处于能源消耗日益增大,环境恶化更加严重的境况。太阳能发电作为可再生能源,是具备大规模开发潜力的新能源之一,标志着崭新的电力时代正一步步走来。目前新疆电网已陆续投运光伏电站,光伏电站并网运行方式均采用最大功率点追踪的方法向系统发送最大有功功率,不向系统发送无功,以功率因数为 1 的方式运行。光伏发电并网的结构可以同时独立调节光伏电站向系统注入有功和无功,在向系统发电的同时也能向系统提供双向可控无功。根据上述特点结合新疆电网光伏电站并网情况,提出光伏电站并网参与系统调节的应用思路,在光伏电站并网发电的同时,也可作为无功补偿装置,利用无功控制维持电压,提高装置的利用率。

**关键词:** 光伏发电系统; 并网运行; 无功控制; 系统调节

**Abstract:** The world is undergoing the increasing energy consumption and more serious environment deterioration. Solar power, as the renewable energy, is one of the new energies which has the large-scale development potential, and it also marks a new power era which is coming step by step. At present, the photovoltaic (PV) power stations have been gradually put into operation in Xinjiang, and its grid-connected operation adopts the maximum power point tracking method to send the maximum active power into the system without reactive power, which is under the power factor operation control style. But the structure of PV grid makes it possible that the PV power station can inject active and reactive power into the system. Based on these characteristics and combining with grid-connected situation of PV power stations in Xinjiang, the application ideas is proposed, that is, PV power stations is integrated to involve in system regulation, when PV power stations generates electricity, it can be used as reactive power compensation device to maintain the voltage with reactive power control and to enhance the utilization of the device.

**Key words:** photovoltaic system; grid-connected operation; reactive power control; system regulation

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2014)04-0006-04

光伏发电具有资源丰富、永不衰竭、分布广、无污染、无噪声、运行安全、维护简便等突出的优点。这些独特的优点使光伏发电近几年来迅速发展。随着光伏电站发电容量逐渐增大,受其装置昂贵的费用所限制,在提高其能量转换效率的同时还应当充分提高装置的利用率。目前并网运行的光伏电站能向系统发送的最大有功功率随太阳辐射和环境温度而随机变化,人们通过最大功率跟踪(maximum power point tracking, MPPT)技术让其发送最大有功功率,但不向系统发送无功,这对装置本身没有充分利用。此外,因为有功功率不可控,在送出受阻时也不能得到资源利用的最大化,因此,如果光伏电站并网积极参与系统调节,进行必要的有功和无功控制,那么即可以保证电网安全稳定运行,也提高了设备

利用率。针对新疆电网目前并网运行的光伏电站的运行情况及存在问题,提出其参与系统调节的设想建议,从而为最大化的利用光伏资源提供借鉴。

## 1 新疆电网光伏电站情况

至 2013 年年底,新疆电网内共投运光伏电站 23 座,设计电站装机容量 510 MW,主要分布在吐鲁番、哈密、和田、阿勒泰、喀什地区,基本上多以 35 kV 电压等级接入电网,仅少数电站以 110 kV 电压等级接入电网,由于目前光伏电站投运接入系统的容量相对较小,因此对电网的影响较小。图 1 所示为一光伏电站的发电曲线,曲线 a 近似抛物线,最大功率点出现在 13:10~14:10 之间,显示了光伏发电的功率特性。

基金项目: 1. 新疆维吾尔自治区高校科研重点项目(XJEDU2011105); 2. 国家自然科学基金项目(51367016)

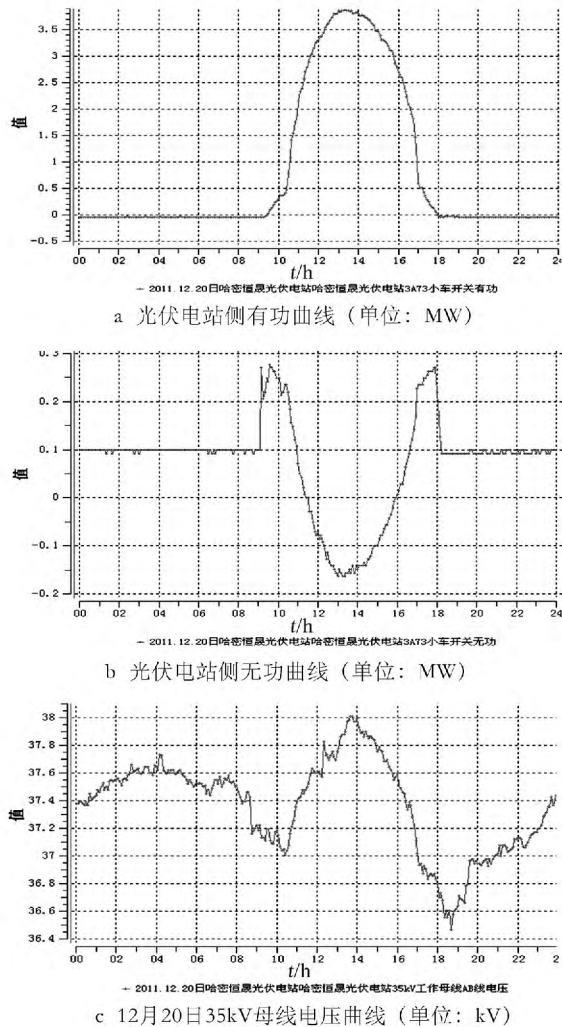


图 1 光伏电站发电曲线

## 2 新疆电网光伏电站存在的问题

目前现有的光伏电站基本运行正常,但在运行过程中还是存在一些问题,具体如下。

### (1) 部分光伏电站送出受阻。

喀什地区的英吉沙光伏一电站目前采用临时过渡接入方案,其“T”接在 35 kV 木康线上,具体参见图 2,由于其连接 35 kV 木华里水电站和 35 kV 康帕水电站上,且线路为 LGJ-95 导线,在冬季运行方式下,其可通过 35 kV 线路将电力送至英吉沙变电站,但在夏季,水电大发时期,其存在与两个水电站共用一个送出通道,出力严重受阻。

### (2) 继电保护及重合闸方式存在不足

所有的光伏电站,基本发电集中在 10:00~18:00 之间,其余时间不发电,这就使得光伏电站送出线路一天中有三分之二的时间不发电,联络线承接无源,

三分之一时间发电,联络线承接有源,联络线重合闸和保护无法完全满足运行方式变化,特别是重合闸方式处于对端有源和无源方式之间变化,不利于重合闸的正确动作。保护也存在同样类似的问题。



图 2 光伏一电站“T”型接线图

### (3) 电压控制方式存在不足

目前所有的光伏电站通过最大功率跟踪 (MPPT) 技术让其发送最大有功功率,但不向系统发送无功,以功率因数为 1 的方式并网运行。这就存在着系统电压控制与功率因数控制的弊端,电压合格时功率因数不一定合格,功率因数合格时电压不一定合格,出现前图中发电出力最大时,电压最高,虽然采用逆调压方式,但不是最优方式,不能充分利用好现有的设备。

## 3 新疆电网光伏电站对电网的影响

新疆电网光伏电站基本以 35 kV 等级并入电网,且该等级电网多为辐射状。下面以新疆喀什地区永盛光伏电站为例进行分析。

### 3.1 对电压的影响

在正常运行方式下,电压沿输电线潮流方向逐渐降低。而当接入光伏电站后,光伏发电使得输电线的传输功率下降,使得输电线上的负荷节点电压被抬高,从而导致某些节点的电压越上限,分析表明电压上升的幅度与接入光伏电站的位置和总量的大小密切相关。

对于上述电压越上限的问题,通常采取的措施是调节配电网中有载变压器的分接头、电压调节器和投退电抗器等设备。然而合理设置光伏电站的运行方式对于配电网中的电压调整也是至关重要的。如正午光伏发电出力最大时,线路若轻载,那么接入的电压降明显被抬高。此时接入点电压将可能越上限,这时就必须合理的设置光伏电站的运行方式。比如规定光伏电站必须参与电网的调压,吸收输电

线路中多余的无功功率。在线路重负荷期间,光伏电站必须多发无功,以改善线路的电压质量。

光伏发电对电压的影响还表现在谐波、电压偏差、电压不平衡度、直流分量、电压波动和闪变等方面。光伏发电的出力受太阳的入射辐照度而变,可造成局部线路电压波动和闪变,若与负荷的波动叠加在一起,又将带来更大的电压波动和闪变。如图3所示为永盛光伏电站容量为4 MW时,出力情况和对应接入点电压的影响。

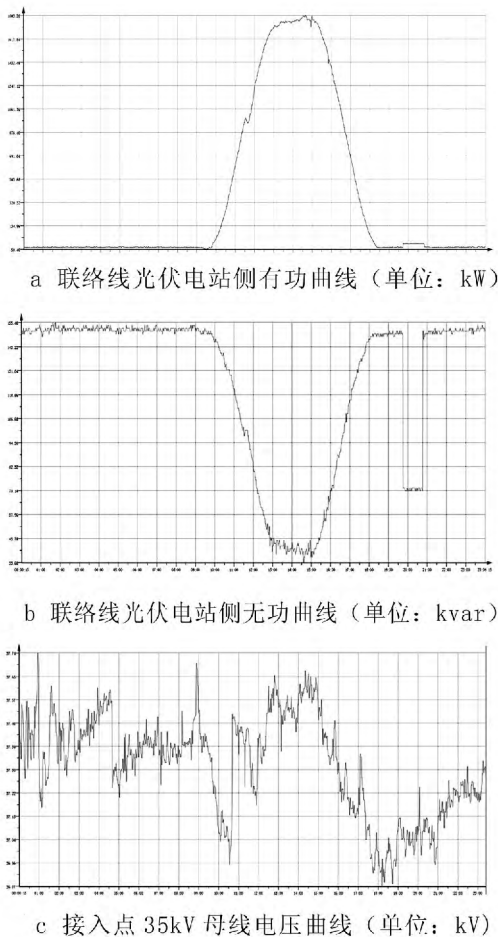


图3 光伏出力对电压的影响

从图5a、b可以看出,该光伏电站在12:00~15:00有功出力最大,几乎接近满发状态;同时光伏电站也能发出一部分无功功率,对电网电压有一定的支撑能力。从图5c中可以看出电压受出力的影响,不停的来回波动,最高电压在37.74 kV,最低电压在36.67 kV,振幅达到1.07 kV。

### 3.2 对继电保护的影响

新疆吐鲁番地区电网中的配电网保护主要是基于断路器的电流三段式保护,主线上装设有自动重合闸,支路上为熔断器。永盛光伏电站接入配

网的末端,改变了原有的单侧电源和辐射型网络,使其变成了双断网络,从而改变了故障电流的方向、大小和持续时间。如果该光伏并网发电系统不能与原有的继电保护协调配合并相适应,当35 kV 萄煤线上其他并联分支元件发生故障时,便可能引起35 kV 萄煤线上的继电器保护误动,失去选择性,进而造成无故障分支失去主电源。此外,当光伏并网发电出力后,会使原来的继电器保护范围缩小,影响继电保护装置的正常工作。

光伏电站自身的故障也会对并网系统的运行和保护产生影响。另外,当光伏系统抗孤岛保护功能时间不能和自动重合闸装置协调配合,也会引起非同期合闸等危害。

当配电网故障时,光伏并网发电系统可能采取解列运行方式,但解列后重新接入电网的同期过程中,应尽量减少对配电网产生的冲击,且应采取一定的控制策略和手段给予保证。

### 3.3 对调度运行的影响

光伏发电受光照变化的影响,其出力是随机波动的,存在间隙性的特点,因此对负荷难以平衡,增大了系统调频和调峰的压力,对系统的稳定性造成一定影响。根据光伏电站出力状况,有时还存在“反调峰”的特性,进而加大峰谷差值,恶化了负荷特性。永盛光伏电站也不具有调度自动化功能,电网调度运行部门不能对其直接控制,所以不能参与电网电压的调整和电网的调频。这无疑会减少配电网中的可调度发电厂的容量,给配电网控制与调度运行带来更大的难度。

此外,当光伏装机容量较大的地区并入电网时,其运行的无法确定性导致发电功率存在较大的波动,对电网的频率产生一定影响,极端情况下导致频率严重下降,加大了调频难度。在电网断面的潮流监控、地区电网电压稳定及联络线的功率调节等调度运行的难度方面,也提出了高水平的调度控制要求。

### 3.4 对短期负荷预测的影响

现行的电网发电计划,尤其是日负荷预测是当天上午预测第3天的负荷,主要依靠于对本地区电网负荷的准确预测。当光伏发电系统并网后,所发出的电能往往被当地的负荷消耗。由于光伏电站的发电量受气候影响,使得整个电网的负荷总量具有了更多的时变性和随机性,从而给电网的发电计划,尤其是日负荷预测的合理制定,带来了较大的难度。

### 3.5 对电能计量的影响

在永盛光伏电站接入配电网前,配电网中的潮流方向是单一的。并网后,配电网中个别区域内的潮流流向发生变化为双向。所以将原有的电能计量装置由单向表改为双向计量装置才能满足要求。

## 4 光伏电站并网参与系统调节的分析

针对新疆电网光伏电站的发电情况及存在问题,考虑到目前光伏电站正在积极建设有功和无功控制系统,可以充分利用系统的控制,最大化的利用好光伏发电设备,最大限度地参与系统的调节,具体如下。

### (1) 针对光伏电站出力受阻情况采取的措施

针对疆南喀什地区光伏电站出力受阻情况,加快完善网架结构,以 110 kV 电压等级接入系统,在目前现有接入系统方案的运行过渡期,考虑到与水电的水光互补,利用光伏电站一天有三分之二的发电,将水电站大发,最大程度的利用水能,而在 10:00~18:00 之间,利用光伏电站发电出力的抛物线曲线特性,水电反抛物线运行,保持风电、水电外送出力之和为一水平线运行,为实现此运行控制模式,需优化 10:00~18:00 的水电运行,同时可以在光伏电站加装储能装置,将 10:00~18:00 的受阻能量进行储存,在晚高峰负荷时期发出,积极参与系统调节。

### (2) 针对重合闸和继电保护采取的措施

针对光伏电站发电运行特性,开展继电保护方案的多方式校验,充分考虑其有源发电和无源情况,校核其保护动作四性情况;

针对重合闸方式,进行重合闸原理的改进,增加自适应情况,满足不同方式下的重合闸自适应,充分考虑水电、光伏电站电源出力的稳定性情况,在重合闸中增加联络线送电功率的附加辅助判据,以达到自适应。

### (3) 针对电压控制方式采取的措施

光伏电站并网结构中含有 1 个三相逆变桥,通过对逆变器的控制可以使发送的无功也双向可控,在极限范围内可达到有功、无功的控制。光伏电站发电的同时还可作为无功补偿器。可以通过无功控制稳定母线的电压,从而提高设备利用率,实现恒功率因数及恒电压方式综合利用。但在发送一定有功的情况下,发送无功受所设计的逆变器开关管容量的限制;其次,在逆变器容量足够大的情况下,还

受传输线路的限制,因此需要对无功功率发出和吸收的容量进行分析和核算,以优化出参与系统无功调节的最大能力。

## 5 结 论

在光伏电站控制系统中增加电压和频率控制环节,使光伏电站能够响应电网电压和频率的变化,使光伏电站具备类似于同步发电机的运行特性,依靠储能装置,避免出力突变对电网频率稳定性的影响;避免水电大发时,由于通道的限制光伏出力受阻问题;通过控制系统,积极响应电网电压和频率的变化,调整其无功功率和有功功率出力大小,从而更好地保障整个电网稳定运行。

### 参考文献

- [1] 汪海宁,苏建徽,张国荣,等. 光伏并网发电及无功补偿的统一控制[J]. 电工技术学报, 2005, 20(9): 114-118.
- [2] 汪海宁,苏建徽,丁明,等. 光伏并网功率调节系统[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(2): 76-79.
- [3] 赵为. 太阳能光伏并网发电系统的研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2003.
- [4] 赵争鸣,刘建政,孙晓瑛,等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [5] 丁明,王伟胜,王秀丽,等. 大规模光伏发电对电力系统影响综述[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1-14.
- [6] 何后裕,何华琴,李小双,等. 分布式光伏接入对配电网网络损耗的影响分析[J]. 现代电子技术, 2014, 37(6): 158-162.
- [7] 孟杰,李庚银. 含风光电站的电力系统动态经济调度[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(11): 70-75.
- [8] 吴桂芳,胡仁祥,常喜强. 吐鲁番光伏电站的出力特性分析[J]. 农村电气化, 2014(1): 8-9.
- [9] 王秀丽,武泽辰,曲翀. 光伏发电系统可靠性分析及其置信容量计算[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(1): 1-14.

### 作者简介:

钟 显(1989), 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制;

樊艳芳(1971), 硕士生导师, 副教授, 研究方向为电力系统稳定与控制;

常喜强(1976), 高级工程师, 研究方向为电力系统分析与控制;

王 衡(1984), 中级工程师, 研究方向为电力系统分析与控制;

周 专(1987), 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制。

(收稿日期: 2014-05-26)