

并网光伏发电系统对电网的影响及相关建议

任泳橙

(徐州华电电力勘察设计有限公司, 徐州市淮海东路 141 号 221005)

摘要: 并网发电是开发和利用太阳能的重要途径, 结合当前光伏并网发电的发展趋势, 本文系统阐述了光伏电站接入系统后对电网潮流分布、网损、系统保护、电压质量以及电力系统调峰等方面的影响, 并结合实际案例, 针对上述影响提出相关建议, 以便尽量减少甚至消除光伏电站接入系统对电网产生的不利影响, 保证电网安全、稳定和经济运行。

关键词: 光伏电站; 并网; 电能质量; 负荷; 潮流; 影响; 建议

0 引言

进入 21 世纪以来, 太阳能光伏发电产业得到迅速的发展, 作为一种可持续的能源替代方式, 其在全球范围内得到广泛应用。大型并网光伏电站^[1]是光伏发电迈向电力规模应用的必然结果, 国内外光伏电站正在从中小规模向大规模发展。由于太阳能发电具有间歇性特点, 其大规模接入电力系统会对电网结构和运行产生显著影响。本文根据并网光伏发电系统^[2]的特点对其接入系统后对电网带来的影响进行分析, 并提出相关建议。

1 对电网调峰的影响及相关建议

1.1 对负荷峰谷差影响分析

根据已投运的光伏电站实际运行情况来看, 夏季光伏电站发电时间为 6:00-18:00, 其中 10:00-15:00 期间光伏电站发电功率为最高, 可达到其装机容量的 85%-90%, 冬季光伏电站发电时间为 7:30-17:00, 其中 11:00-14:00 期间光伏电站发电功率为最高, 可达到其装机容量的 85%-90%。从光伏电站的发电特点可以看出接入公共连接点的光伏电站在白天发电可以消减当地白天峰值负荷, 但却无法消减晚峰。

因此, 有必要对光伏接入后系统等效负荷的特性进行分析, 这里等效负荷是指光伏发电出力与正常电网负荷叠加后的负荷。对于负荷高峰出现在白天而负荷低谷出现在晚间的地区, 光伏电站的接入可有效的降低等效负荷日峰谷差, 改善负荷特性; 而对于工矿企业较多的地区, 其负荷高峰往往出现在晚间, 负荷低谷出现在白天, 光伏电站接入该类

地区后, 将进一步增大等效负荷峰谷差, 从而使负荷特性恶化。而且随着系统内光伏装机容量所占比例逐渐增大, 上述影响也将同时增大, 这将对系统调峰产生影响。

1.2 对电网调峰影响分析

由于光伏发电具有间歇性和波动性的特点, 其输出功率随机波动较大、可调节性较差, 因此光伏电站并不具备调峰能力。

当系统中有光伏电站出力时, 系统中其他常规电源出力必须同时调整以让出部分负荷由光伏系统供电, 当光伏电站受天气影响出力骤降时, 其他电源出力必须迅速增加, 为光伏电站的有功出力提供补偿调节。而且由于光伏发电系统出力的波动远比正常负荷波动大得多, 因此电网必须为光伏发电系统提供足够的旋转备用容量, 也即是对光伏发电的“调峰”。

根据上述分析可知, 随着系统内光伏电站出力容量的增大, 对电网调峰能力的要求也相应提高, 即电网必须为光伏发电系统提供更多的旋转备用容量。根据相关资料研究表明, 电网中光伏最大出力容量占电网最大负荷比例小于 10% 时, 系统的等效负荷最大峰谷差率不大于 20%, 此时基本不影响电网调峰; 而当该比例上升至 50% 时, 等效负荷的最大峰谷差率将达到 62.3%, 此时将给电网调峰带来极大困难。

1.3 结论

通过上述分析可以看出, 光伏电站的接入并不能减少电网常规电源的装机容量, 相反还需要电网为其配备一定的旋转备用容量以满足调峰的要求。且随着电网中光伏最大出力容量占电网最大负荷比

例不断增加，系统等效负荷最大峰谷差也将线性增加，电网调峰愈加困难。

1.4 相关建议

针对上述影响，建议采取以下几种措施来应对。

(1) 优化电源结构，增加系统调峰电源，加大常规燃煤发电厂调峰能力或加强需求侧管理，以减小负荷峰谷差；

(2) 加强光伏电站有功功率调节能力，做好光伏电站功率预测，光伏电站每天提交次日光伏发电功率申报曲线，由调度部门根据电网运行情况合理安排电源开机方式；

(3) 合理规划光伏接入系统容量，根据相关资料研究表明，光伏并网接入容量一般按系统最大负荷的 30% 以下考虑为宜；

(4) 开展“风光互补”发电系统研究，实现昼夜供电、降低成本的目的；

(5) 开展光伏电站储能环节建设研究，从而实现在白天存储光伏电力以满足夜间用电需求。当然，从光伏产业发展现状来看，配置储能元件后光伏发电效率将下降且成本将提高，因此储能环节的建设与否需要进行相应技术经济比较后再行决定。

2 对电网潮流分布的影响及相关建议

2.1 对电网潮流分布影响概述

从徐州市最近两年已投运或是待投运的光伏电站来看，其一期装机容量一般不超过 20MW，基本上接入 110kV 及以下的受端网络。对于受端网络而言，其潮流均是单向流动，即从变电站低压侧母线流向各负荷节点。而当光伏电站接入到受端网络之后，原先的网络变为含有多电源的双向网络，且由于光伏电站输出功率受环境影响较大，其输出具有一定的随机性和波动性，因此系统潮流的流向也具有不确定性。下面根据相关实际案例来分析光伏电站并网后对电网潮流分布带来的影响。

2.2 案例分析

徐州今典科技有限公司 20MW 鱼塘光伏电站位于徐州市铜山区马坡镇，根据徐州供电公司关于今典光伏电站接入系统方案的评审意见，该光伏电站以两回 10kV 架空线路分别接入 110kV 马坡变电站 10kV I、II 段母线。现按徐州市 2014 年夏季高峰负荷正常运行方式对该接入系统方案进行潮流计算。

计算设定：

光伏发电出力按一期工程装机规模 100% 考虑，由光伏发电特点可知，中午时段（12:00 左右）是发电出力最大的时候，故此时系统相关负荷取中午 12:00 的实际负荷。相关负荷资料如表 1 所示。

表 1 相关负荷资料表

相关变电站	白天最大负荷/MW	白天最小负荷/MW
110kV 马坡变	26	6
本工程光伏电站	-20	-20

潮流计算采用中国电科院编制的 PSASP 软件 7.0 版本，计算结果如图 1、图 2 所示。

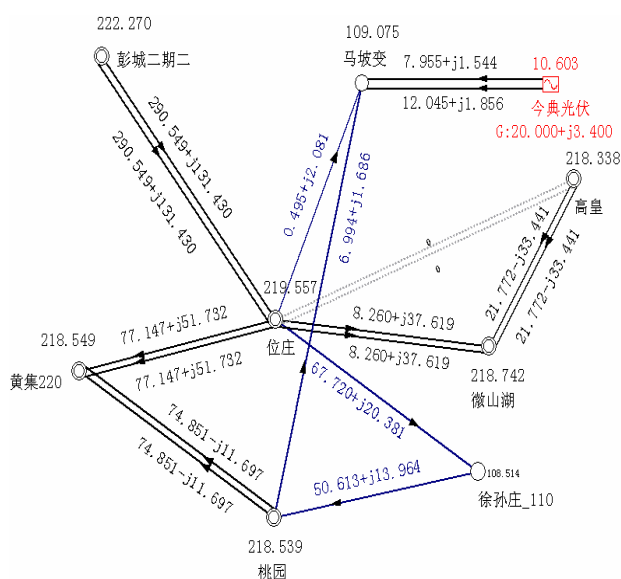


图 1 马坡变白天高峰负荷时潮流图

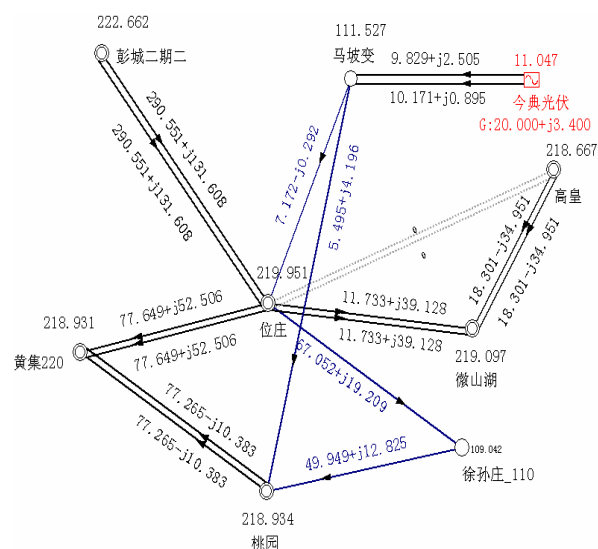


图 2 马坡变白天低谷负荷时潮流图

由潮流计算结果可知，在马坡变白天最大负荷情况下，光伏电站上网电能可全部由马坡变就地消纳，无需向上级电网倒送潮流；在马坡变白天最小

负荷情况下,光伏电站上网电能一部分供马坡变消纳,另外通过 110kV 位马 956 线和 110kV 桃马 955 线分别向 220kV 位庄变和 220kV 桃园变倒送潮流共约 12.5MW。

众所周知,电网网损与电网潮流分布有着密切关系,潮流分布的改变必然导致电网网损的变化。在 PSASP 软件仿真环境中,分别对马坡变高峰和低谷负荷情况下,光伏电站并网前后相关变压器和线路的损耗进行计算,计算结果如表 2、表 3 所示。

表 2 高峰负荷网损计算结果表

光伏容量/MW	线路损耗/MW	主变损耗/MW	网络损耗/MW
0	0.0395	0.121	0.1605
20	0.0052	0.0175	0.0227

表 3 低谷负荷网损计算结果表

光伏容量/MW	线路损耗/MW	主变损耗/MW	网络损耗/MW
0	0.0034	0.0102	0.0136
20	0.0078	0.0198	0.0276

由表 2 和表 3 计算结果可以看出,在高峰负荷时,光伏电站并网后系统网损降低,而在低谷负荷时,光伏电站并网后系统网损增加。

2.3 结论

根据上述案例分析得出,系统负荷高峰时,光伏电站输出电能小于公共连接点当前所带负荷,此时潮流方向仍不会改变,且由于光伏电站注入一定容量的功率,此时流过相关线路和主变的有功功率有所降低,则系统网损相应降低;系统负荷低谷时,光伏电站输出电能大于当前负荷,此时系统中潮流出现反向,即光伏电站通过公共连接点经由主变压器向高压侧返送潮流,当返送潮流较大,流过相关线路和主变的有功功率增大时,则系统网损相应增加。当然,如果负荷低谷时,返送潮流较小,网损仍有可能降低。

2.4 相关建议

光伏电站装机容量以及并网的位置决定了潮流的流向和网损的大小,从优化潮流分布和减小网损的角度来看,应充分考虑待并网光伏电站周边负荷情况,尽量选择负荷较大的接入点,使光伏电站所发电能就地消纳,不向上级电网返送潮流。

3 对继电保护及安全自动装置的影响及相关建议

3.1 对继电保护配置影响分析

由第二章分析可知,光伏并网后受端网络将由单系统放射状网络变为含有多电源的双向网络,其潮流流向也具有多样性。这种多样性将使得光伏接

入点原先的继电保护配置无法满足要求。

仍以上文中提到的今典光伏接入系统案例进行分析。今典光伏以双回 10kV 线路接入 110kV 马坡变 10kV 母线,由于 110kV 马坡变为终端变电站,其 110kV 侧并未配置线路保护,而当光伏电站接入后,若马坡变 110kV 进线线路发生短路故障,单靠对侧线路保护跳闸已无法切除故障点,此时光伏电站仍会向故障点送短路电流。

3.2 孤岛现象^[3,4]对重合闸的影响

电网失压时,光伏电站仍保持对失压电网中的某一部分线路继续供电的状态称为孤岛现象。非计划性孤岛效应的发生,可能危及线路维护人员和用户的生命安全,使得孤岛中的频率和电压失去控制。

当孤岛形成后,在线路断路器断开到重合闸动作这段时间内,光伏电站与系统侧电源电势角将摆开,电势角达到一定值时将造成非同期重合闸。

3.3 结论

从上述分析中可以看出,光伏并网系统大规模运行后,对电网结构以及短路电流分布将产生深刻影响,因此需要重新考虑网络的继电保护配置。另外由于可能产生的孤岛效应给电网带来的不利影响,将对系统安全自动装置提出新的要求,以保证电网的安全稳定运行。

3.4 相关建议

针对上述影响,建议采取以下几种措施来应对。

(1) 对于光伏电站接入终端变电站的情况,建议在该变电站高压侧进线电源两侧装设光纤差动保护,条件不具备时也可装设三段式方向距离保护。

(2) 在光伏电站侧加装逆变器防孤岛保护,要求光伏系统必须在电网失压 2s 以内停止向电网线路送电。

(3) 对系统变侧保护及自动装置二次回路进行调整,使得主变保护和备投动作时联切光伏并网线路。

(4) 在光伏电站侧装设检同期设备同时系统侧装设检无压设备,可靠避免非同期重合闸。

4 对电压质量的影响及相关建议

太阳能光伏发电系统电能经并网逆变器^[3]接入系统,由于太阳能光伏发电系统运行特性及并网逆变器运行特点,太阳能光伏发电系统接入电网时对公共连接点电压质量会带来一定的不利影响。下面主要从电压偏差和电压波动两个方面展开讨论。

4.1 对公共连接点电压偏差^[5]影响分析

根据《光伏电站接入电力系统技术规定》（GB19964-2012）第 6.2.2 条相关规定，对于 10kV-35kV 电压等级并网的光伏电站功率因数应能在超前 0.98-滞后 0.98 范围内连续可调。即在系统负荷高峰时，光伏电站应以滞后 0.98 功率因数运行，向系统发出容性无功，补偿系统容性无功缺额，以支撑公共连接点电压水平；在系统负荷低谷时，光伏电站应以超前 0.98 功率因数运行，从系统侧吸收容性无功，防止公共连接点电压越限。

从目前市场上各逆变器厂家产品来看，虽然在其产品说明书中均强调逆变器所发无功连续可调，但就实际运行效果来看，逆变器的无功出力可调节性仍比较差，可以认为其所发无功为不可控。因此光伏系统并网后有可能对公共连接点处电压产生反调节效应。即在系统负荷高峰情况下从系统吸收容性无功，造成公共连接点电压水平进一步下降，而系统负荷低谷时向系统输送容性无功，造成公共连接点电压越限。

4.2 对公共连接点电压波动^[6]影响分析

太阳光照强度的变化在很大程度上影响着太阳能光伏发电装置的实际出力的变化，白天光照最强，发电装置出力最大，夜晚光照最弱，发电装置出力为零。因此，除设备故障因素以外，发电装置的出力随天气、日照、温度等自然因素而变化，而出力的变化将在公共连接点处产生电压波动。

根据已投运光伏电站的实测结果，天空中云层的飘过可以使光伏电站出力迅速减少高达 75%，因此即使白天光照强度最强时光伏电站出力仍有可能大范围变化，从而引起公共连接点电压大范围波动。根据 GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》中电压波动计算公式，电压波动率=负荷容量的变化量/公共连接点的短路容量，从计算公式可以看出，光伏系统并网后引起的电压波动与光伏接入容量和公共连接点的短路容量密切相关。

4.3 结论

根据上述分析，由于逆变器所发无功的不可控性，将对公共连接点处电压水平的调节带来困难。另外，由于光伏电站出力的不稳定性将可能引起公共连接点电压的大范围波动。

4.4 相关建议

针对上述影响，建议采取以下几种措施来应对。

(1) 光伏电站侧加装动态无功补偿装置，保证

光伏电站功率因数应能在超前 0.98-滞后 0.98 范围内连续可调。

(2) 在进行光伏电站接入系统设计时，应合理选择公共连接点，尽量选择短路容量较大的公共连接点。

(3) 加强受端网络建设，逐步扩大相邻主要负荷集中地区内部及其彼此间的网络连接，提升受端网络主网的母线短路容量水平，从而减小光伏电站接入后带来的电压波动影响。

5 结束语

光伏系统由于其先天的局限性，并网发电后对电网调峰、潮流分布、系统保护及电压质量等方面均会产生或多或少的不利影响，针对各种不利影响，文章中提出了相关建议以求将上述影响降至最低。综上所述，光伏并网发电建议因地制宜，根据各地方电网特点具体分析，合理制定并网容量、功率控制、电压调节以及继电保护配置等技术要求。

参考文献：

- [1] GB/T 19964-2012,光伏电站接入电力系统技术规定[S].
- [2] 贾要勤,杨仲庆.分布式可再生能源发电系统研究[J].电力电子技术,2005(4).
- [3] GB/T 19939-2005,光伏系统并网技术要求[S].
- [4] 国家电网公司.Q/GDW617-2011 光伏电站接入电网技术规定[Z].北京:国家电网公司,2011.
- [5] GB/T 12325-2008,电能质量 供电电压偏差[S].
- [6] GB/T 12326-2008,电能质量 电压波动和闪变[S].

作者简介：

任泳橙（1987—），男，江苏睢宁人，助理工程师，从事电力系统设计工作，E-mail: rycn888@163.com。

注：（作者联系方式：任泳橙 13852237816 4823205 徐州市淮海东路 141 号 221005）