

光伏电站逆变器选型

Selection of the Inverter for Photovoltaic Power Plant

阳光电源股份有限公司
Sungrow Power Supply Co., Ltd

摘要: 光伏逆变器是光伏发电系统两大主要部件之一, 光伏逆变器的核心任务是跟踪光伏阵列的最大输出功率。本文提出了“因地制宜, 科学设计”——即根据光伏电站装机规模、所处环境和电网接入要求, 合理选择逆变器类型。

关键词: 光伏逆变器 光伏电站 最大输出功率

Abstract: PV (photovoltaic) inverter is one of the two main components of PV generation system, the core mission of which is to track the maximum output power of PV array. This paper comes up with “adapted to local conditions, designed scientifically” --the type of inverter should be properly selected according to the installed capacity, environment and grid access requirements.

Key words: PV Inverter, PV Power plant, Maximum output power

[中图分类号] TM615 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 02-0049-04

0 引言

光伏逆变器是光伏发电系统两大主要部件之一, 光伏逆变器的核心任务是跟踪光伏阵列的最大输出功率, 并将其能量以最小的变换损耗、最佳的电能质量馈入电网。由于逆变器是串联在光伏方阵和电网之间, 逆变器的选择将成为光伏电站能否长期可靠运行并实现预期回报的关键。本文提出了“因地制宜, 科学设计”——即根据光伏电站装机规模、所处环境和电网接入要求, 合理选择逆变器类型, 使得电站建设方、投资方、运营方以及电网等相关多方, 在安全、稳定和收益上的共同利益最大化, 促进光伏行业健康、有序发展。

1 光伏电站分类及电站特点

按照光伏电站安装环境的不同, 光伏电站一般分为荒漠电站、屋顶电站及山丘电站 3 种, 列于表 1。

表 1 光伏电站一般分类

	地形	规模	并网点	主要应用区域
荒漠电站	地势平坦, 无遮挡	5MW 到几百 MW	高压输电网	主要集中在西部地区
山丘电站	山地丘陵, 地形及遮挡情况多样	几 MW 到百 MW	高压输电网	主要集中在中东部和南方地区
屋顶电站	建筑屋顶资源, 情况多样	几 kW 到几十 MW	中低压配电网	主要集中在中东部和南方地区

(1) 荒漠电站

利用广阔平坦的荒漠地面资源开发的光伏电站。该类型电站规模大, 一般大于 5MW, 目前单个 50MW 以上规模的电站已十分常见; 电站逆变输出经过升压后直接馈入 110kV、330kV 或者更高电压等级的高压输电网; 所处环境地势平坦, 光伏组件朝向一致, 无遮挡。该类电站是我国光伏电站的主力, 主要集中在西部地区。

(2) 山丘电站

利用山地、丘陵等资源开发的光伏电站。该类电站规模大小不一, 从几 MW 到上百 MW 不等; 发电以并入高压输电网为主; 受地形影响, 多有组件朝向不一致或早晚遮挡问题。这类电站主要应用于山区, 矿山以及大量不能种植的荒地。

(3) 屋顶电站

利用厂房、公共建筑、住宅等屋顶资源开发的光伏电站。该类型电站规模受有效屋顶面积限制, 装机规模一般在几 kW 到几十 MW; 电站发电鼓励就地消纳, 直接馈入低压配电网或 35kV 及以下中高压电网; 组件朝向、倾角及阴影遮挡情况多样化。该类电站是当前分布式光伏应用的主要形式, 主要集中在我国中东部和南方地区。

2 逆变器分类及特点

光伏逆变器根据其功率等级、内部电路结构及应用场合

不同，一般可分为集中型逆变器、组串型逆变器和微型逆变器 3 种类型，列于表 2。

表 2 光伏逆变器一般分类

	单机功率	每路 MPPT 功率	成本	选用情况
集中型逆变器	(500-2500) kW	(125-1000) kW/MPPT	低	全球 5MW 以上容量的电站中选用率为 98%
组串型逆变器	(3-60) kW	(6-15) kW/MPPT (三相) (2-4) kW/MPPT (单相)	高	全球 1MW 以下容量的电站中选用率超过 50%
微型逆变器	1kW	(0.25-1) kW/MPPT	很高	主要在北美地区 10kW 以下的家庭光伏电站使用

(1) 集中型逆变器

主要特点是单机功率大、最大功率跟踪 (MPPT) 数量少、每瓦成本低。目前国内的主流机型以 500kW、630kW 为主，欧洲及北美等地区主流机型单机功率 800kW 甚至更高，功率等级和集成度还在不断提高，德国 SMA 公司今年推出了单机功率 2.5MW 的逆变器。按照逆变器主电路结构，集中型逆变器又可以分为以下 2 种类型，列于表 3。

表 3 集中型逆变器分类

	电路结构	交流侧	直流侧	MPPT 数
单机型	一个三相功率电路	/	/	一路
模组并联型	几个独立的三相功率电路 (模组) 组成	并联馈入电网	独立运行模式 并联主从模式	多路 (每个模组一路) 一路

集中型逆变器是目前大部分中大型光伏电站的首选，在全球 5MW 以上的光伏电站中，其选用比例超过 98%。

(2) 组串型逆变器

单机功率在 3kW-60kW 之间。主流机型单机功率 30kW-40kW，单个或多个 MPPT，一般为 6kW-15kW 一路 MPPT。该类逆变器每 W 成本较高，主要应用于中小型电站，在全球 1MW 以下容量的电站中选用率超过 50%。

(3) 微型逆变器

单机功率在 1kW 以下，单 MPPT，应用中多为 0.25kW-

1kW 一路 MPPT，其优点是可以对每块或几块电池板进行独立的 MPPT 控制，但该类逆变器每瓦成本很高。目前在北美地区 10kW 以下的家庭光伏电站中有较多应用。

几种逆变器的典型应用如图 1 所示。

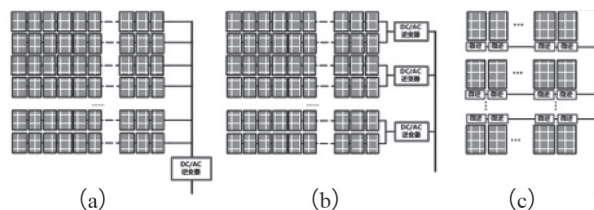


图 1 几种逆变器的典型应用：(a) 一路或几路 MPPT；(b) 多路 MPPT；(c) 每个组件一路 MPPT

如图所示，光伏组件通过串联形成组串，多个组串之间并联形成方阵，集中型将一个方阵的所有组串直流侧接入 1 台或 2 台逆变器，MPPT 数量相对较少；组串型将一路或几路组串接入到一台逆变器，一个方阵中有多路 MPPT；微型逆变器则对每块电池板进行 MPPT 跟踪。当各组件由于阴影遮挡或朝向不一致时，则会出现串联和并联失配。组串型方案多路 MPPT 可以解决组串之间并联失配问题，微型逆变器既可以解决组串之间的并联失配，也可以解决组件之间的串联失配。因此，从技术方面看，几种逆变器的本质区别在于对组件失配问题的处理。

以逆变器为核心的设计选型，需要在光伏系统生命周期内寻找总发电量和总成本的平衡点，还要考虑电网接入，如故障穿越能力、电能质量、电网适应性等方面的要求。依据各种逆变器的特点，结合所应用的光伏电站实际情况，从电网友好、高投资回报、方便建设维护等方面进行科学合理的选用。

3 不同电站的逆变器选型

3.1 荒漠电站——集中型优势明显

集中型逆变器有以下几方面的优势，是荒漠电站的首选。

(1) 更低的初始投资

根据对比分析，集中型方案较组串型逆变器方案在初投上每 MW 节省投资约 26 万元。

表 4 1 MW 光伏电站初建设成本 (光伏组件除外)

设备名称	集中型 (以集装箱方案为例)		组串式 (以 30kW 单机为例)	
	规格	投资成本	规格	投资成本
直流汇流箱	PVS-16M	(4.8-5.6) 万元	/	/
直流汇流箱	/	/	6 进 1 出	(3-4.8) 万元
逆变器及配套	10 呎 集装箱	(6-8) 万元 (含基础)	/	/
通讯柜	集成于集装箱平台中	/	室内壁挂式	(0.2-0.5) 万元
升压变	双分裂	(20-22) 万元	双绕组 (含低压侧二次汇流)	(18-20) 万元
电缆	交直流线缆	(10-18) 万元	交直流线缆	(20-30) 万元
小计		(40.8-53.6) 万元		(41.2-55.3) 万元
逆变器		30 万元		
总投资		(70.8-83.6) 万元		(96.2-110.3) 万元

(2) 发电量与组串型持平

荒漠电站中集中型和组串型发电量基本持平，综合集中型在最高效率和过载能力等方面的优势，集中型发电量略高于组串型。少数电站出现的早晚时间前后排的遮挡，使用组串型无法克服，需要通过优化组件布局进行规避。

(3) 运维更方便更经济

通过对比集中型和组串型主流机型方案在 100MW 电站的运维数据（见表 5），发电量损失二者相当；由于组串型设备是整机维护，而集中型设备是器件维护，设备维护成本上，集中型优势非常明显。同时，在占地几千亩的百 MW 级大规模电站中，对完全分散布置的组串逆变器进行更换，维护人员花在路途上的时间将远高于进行设备更换的时间，这也是组串型的大型电站应用不利因素之一。

表 5 集中型和组串型性能比较

对比维度	集中型	组串型	发电量影响计算与分析	差异（正号表示集中式优于组串式）
逆变转换效率	98.5%	98.30%	组串式 DC/DC+DC/AC 双级架构，效率低	+0.20%
产品不可用导致的发电量损失	A	A	综合故障率、单机功率和维护时间影响，组串式损失略小	-0.01%
配套设备功耗	0.066%	≈ 0	直流汇流箱与交流汇流箱功耗相当，逆变室风箱功耗这算至一天约 3kWh	-0.066%
高温及高海拔导致的发电量损失	0	0.50%	组串式工作于室外，夏季好时段及高海拔应用需降额。换算至全年发电量差异达 0.5% 左右	+0.50%
遮挡失配损失	A	A+	不存在朝向不一致和遮挡引起的失配问题，云层导致的阴影遮挡损失组串式比集中式低 0.5% 左右	-0.50%
组件衰减失配	A	A	组件衰减不一致及灰尘遮挡均按正态分布在方阵中，组串式多路 MPPT 无明显改善	-0.01%
直流电缆电压差导致的失配损失	0.015%	≈ 0	集中式逆变器直流电缆电压差导致的失配损失约为 150W	0.015%
电缆损耗	1.86%	2.14%	组串式方案主要为交流损耗，集中式方案主要为直流损耗	+0.28%
总计				+0.38%

(4) 集中型方案更加符合电网接入要求

高压输电网对并网的光伏发电，在调度响应、故障穿越、限发、超发、平滑、谐波限制、功率变化率、紧急启停等方面都有严格要求。故障穿越是指电网出现短路、浪涌、缺相情况下，逆变器必须能够在 625ms 到几 s 的时间内，依然输出一定容量的有功功率和无功功率，确保电力系统继电保护能够正常动作，由于集中型逆变器在电站中台数少，单机功能强大，通讯控制简单，故障期间能够穿越故障的概率远大于组串逆变器。2013 年 6 月中旬国网组织的实地低电压穿越检验，多个型号集中逆变器也不同程度出现脱网情况。设想，如果有上 1000 台小型逆变器在大型电站中运行，一旦电网出现故障，由于设备众多控制复杂，电网耦合、谐振概率陡增，组串型逆变器必然会出现大量脱网、甚至设备自身损坏的情况，危及电网安全运行。另外，由于逆变器数量太多，无法确保 30ms 内响应无功调度指令的电网要求。

3.2 山丘电站——多 MPPT 集中型方案为主，也可考虑组串型方案

山丘电站可以看作地势并不平坦的荒漠电站，也是馈入输电网为主，规模多为 5MW 以上。在山丘电站项目中，通常一个坐标系下规划 100 多 kW 左右容量组件（如 125kW 的组件铺设成同一朝向），达到发电量和投资维护成本的最优比例。针对此应用开发的多 MPPT 模组模式的集中型逆变器，每路 MPPT 跟踪 100 多 kW 组件，将同一朝向组件的设计占地面积单位缩小到约 1000m²，大大提升了施工便利性并有效解决朝向和遮挡问题，同时共交流母线输出，具备集中型逆变器电网友好性特点，是山丘电站的首选方案。

如果所选的山丘电站地形非常复杂，实现 100 多 kW 组件同一朝向铺设施工难度很大，可以考虑组串型逆变器作为补充。

3.3 屋顶电站——推荐组串型，也可选用集中型方案

屋顶电站的设计相对较为复杂，受屋顶大小、布局、材质承重、以及阴影遮挡等影响，需要通过组件铺设和逆变器选型规划来实现收益最大化。同时，组件安装在屋顶，需要考虑火灾防范等安全问题。接入配电网，直接靠近用户负荷，需要考虑用户用电安全性，电能质量符合要求，及与原有配电之间的继电保护协调等。接入用户配电网后，对用户的功率因数影响十分明显，逆变器除了输出有功外，还需要快速的根据光伏系统实时发电情况、用户实时负荷数据以及用户配电网原有的 SVC、SVG 投入情况综合计算，以确定逆变器的实时无功输出容量。因此，屋顶光伏系统方案的选用，需要在安全、电网友好、投资回报、维护等多个因素中寻求平衡点。

屋顶结构复杂，存在遮挡或朝向不一致，屋顶结构复杂，为了简化设计，推荐使用组串型逆变器。并且根据实际屋顶

和并网点的位置及并网点电压等级，选择逆变器。组串型逆变器需要具备拉弧监测和关断能力，以有效防止火灾的发生，具备 PID 消除功能，具备高精度漏电流保护功能和孤岛保护功能等。

大型厂房，考虑到屋顶承重和维护便利性，可选用集中型方案。工业厂房屋顶平坦、规模大、阴影遮挡少、朝向简单、多为 10kV 中压配电网并网。考虑到大多厂房为彩钢屋顶，承重有限无法安装组串型逆变器，以及日常维护便利、不影响正常生产运行等实际情况，可选用集中型逆变器。

4 总结

逆变器作为组件和电网之间的桥梁，是光伏系统的核心部件。根据电站规模、以及不同的应用场合，选择合适的逆变器，对系统成本和发电量都大有益处。在规模大、地势平坦的荒漠、滩涂，适合选用集中型逆变器；在规模较大、地势起伏的山丘电站，适合选用多 MPPT 的集中型逆变器；在规模相对较小、布局多样化的屋顶电站，适合选用组串型逆变器。因地制宜，科学选择光伏电站逆变器，可以确保光伏电站在投资决策阶段少走弯路，在后期运行维护阶段更加可靠高效运行。

鼓励政策力度或加大 我国新能源汽车仍将快速行进

国际油价低位探至 50 美元以下、国内油价连续十二跌，对刚刚兴起的全球及我国新能源汽车产业的发展带来了较大冲击。但我国发展新能源汽车、保护环境的决心依然坚定。近期，国内首条高速公路电动汽车快充网络——京沪高速公路快充网络全线贯通。同时，今年鼓励新能源汽车发展的政策也将会来得更“猛烈”。

产销质取得较大进展

2014 年我国新能源汽车发展取得重大进展。一方面，新能源汽车产销量大增。去年 9 月新能源汽车免车购税政策落地后，9 月至 12 月平均月产销量增长迅速。相关数据显示，2014 年我国新能源汽车销售 7.48 万辆，比上年增长 3.2 倍，其中普通消费者购买新能源汽车数量占比超过 60%，特别是下半年以来，私人购买电动汽车的比重明显加大。

另一方面，新能源汽车产品质量性能也有大幅提升。工信部部长苗圩表示，目前，汽车制造业发展新能源汽车信心倍增，新车型上市速度明显加快，一些明星车型的部分性能指标已达到国际先进水平。

电动汽车零配件厂商、德国最大的半导体制造商英飞凌中国区负责人徐辉认为，一些中国产品在技术上已和国际产品不相上下。

随着政策加码，企业投入也不断增加。上汽集团副总裁王晓秋表示，从 2009 年到 2014 年，集团在新能源领域开发方面已投入 60 多亿元；北汽集团董事长徐和谊介绍，集团已建成两大新能源产业基地，2016 年将推出 400 公里续航里程产品。

三部门鼓励政策“真材实料”

在 13 日至 14 日举行的以“产业发展新生态”为主题的“中国电动汽车百人会论坛(2015)”上，科技部部长万钢指出，我国新能源汽车产业迎来了前所未有的发展机遇。科技部将按照部署，继续推动新能源汽车的基础研究、关键性技术，以及产业化、差异化过程中一些所需要的技术研究，为产业发展提供强有力的技术支撑。

苗圩透露，工信部将协调推进充电设施政策，加快推进电动汽车充电设施发展规划，鼓励社会资本进入充电设施领域，加强对新型充电设施和装备技术研发支持。

此外，工信部还将通过制定出台基于汽车企业平均燃油消耗量的积分交易和奖励办法，允许企业自由交易油耗积分，强制不达标企业通过市场购买积分等措施，形成企业主动加快新能源汽车研发和推广的内生动力和机制。

财政部经济建设司司长曾晓安表示，将尽快发布下一阶段新能源财政支持政策，组织相关专家完善 2016 年至 2020 年新能源汽车推广应用的财政支持方案。同时，还将加快城市公交车油价补贴政策改革进程，减少传统汽车补贴，创造有利于新能源汽车的发展环境。

据悉，工信部已与住建部形成共识，今后所有新建小区和新建楼宇，都要把充电电源建设和水电气建设放在同等重要位置，如果车库动力电源接不进去，楼盘不能通过验收。