

光伏系统的可靠性分析

曹仁贤

光伏供电系统目前主要用于电网延伸有困难的山区、海岛、牧区等场所，由于光伏供电系统目前还没有形成规模化生产，设计缺陷和早期失效较多，加上边远地区文化、技术落后，供电系统维护和维修力量均跟不上，造成光伏供电系统总体可靠性指标较低。由于光伏供电系统往往安装于偏僻的山区，出现故障后修复时间往往较长，因此其平均故障修复时间（MTTR）也较长。这个问题一直困扰着光伏产业的产业化。本文通过大量的实践和案例，分析了光伏系统可靠性指标低的主要原因，并提出了一些相应的改进措施。

1 缺乏可靠性是光伏系统可靠性指标降低的主要原因

什么是产品的可靠性？可靠性是产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。而可靠性设计是为了保证产品德可靠性而采取的一系列分析与设计技术，是通过系统装置的电路设计与结构设计来实现的。光伏系统的可靠性，是指在满足光伏供电系统供电能力的同时，针对光伏系统的具体使用环境和条件下有可能出现的故障模式，采取相应的设计技术，以最少的投资使光伏产品满足一定的可靠性要求。

光伏供电系统产品有的部件经过维修后可再次使用，称为可维修部件；有的部件失效后无法修复或修复成本太高，这类部件称为不可修复部件，表 1 列举了光伏供电系统中的部件属性。

表 1

可维修部件	不可维修部件
逆变电源	太阳能电池板
控制器	免维护铅酸蓄电池
光伏水泵	直流灯具
风力发电机组	避雷器、熔断器、导线
.....

实际上光伏供电系统由可维修部件和不可维修部件组成。诸如太阳能电池板、免维护蓄电池等光伏部件，一旦失效后很难修复，称为不可维修部件，不可维修部件一般直接采用狭义可靠性指标处理，主要有可靠度、失效率、平均寿命 3 个指标，可靠度 $R(t)$ 是指产品（或部件）在规定条件下，规定时间内完成规定功能的概率；失效率 $\lambda(t)$ 是指已工作到时刻 t 尚未失效的产品，在时刻 t 后单位时间内发生失效的概率；平均寿命是指产品从使用开始直到发生失效所经历的时间。

对于逆变电源等可维修产品或部件，其主要指标有可靠度、故障率和平均故障间隔时间（MTBF）以及平均故障修复时间（MTTR）。

对于由可维修部件和不可维修部件组成的光伏系统，总体来说还应理解为可维修产品。

应该说光伏系统的可靠性是可以设计出来的，表 2 是合肥阳光电源有限公司生产的某种型号光伏系统逆变电源的失效原因分析表。

表 2

失效原因	占失效总数的百分比 (%)
设计缺陷	60
元器件质量低下	25
使用与维护不当	14

可见设计缺陷仍是光伏系统失效的主要原因，实质上产品设计一旦完成，其固有可靠性就确定了，生产制造只能保证理论上固有可靠性得以实现，而使用和维护只能尽量维持已获得的固有可靠性。从表 2 中得知设计缺陷和元器件质量成为影响可靠性的主要因素。下面仅从光伏供电系统的角度对可靠性设计进行一些分析和研究。

1)设计缺陷是光伏系统可靠性指标低的主要原因。主要是由于光伏供电以及系统产品产业规模较小，产品标准化率极低，因此进行可靠性分析、设计缺乏资源和样本。表 3 为合肥阳光电源有限公司生产的 2 种逆变电源的年产量和失效率指标，可见只有产品生产达到一定规模才能有更多的时间和机会修正产品的缺陷，减少早期失效率，而对于由逆变电源、控制器、蓄电池等多种部件组成的光伏供电系统及失效情况显得更为复杂，例如：

a 系统未能按能量守恒定律负载停电概率进行平衡设计，特别是太阳电池功率不足造成“小马达大车”现象普遍存在，蓄电池经常被深度放电，从而导致蓄电池过早失效；

表 3

产品型号	年产量 (台)	1 万小时后的失效率 λ (10000)
SQ1220	5000	$2.6 \times 10^{-3}/h$
SN22030K	30	$170 \times 10^{-3}/h$

b 光伏控制器设计不合理，如电池过放点电压普遍偏低，过放后重新接通负载电压滞回太小等；

c 逆变电源效率低下，保护功能不全等。

2)使用、维护不当是光伏产品可靠性指标低的重要原因。在光伏系统中由于太阳电池相对较长的寿命和部件相对较短的寿命之间的矛盾，光伏供电系统一般属于可维修产品，在出现故障前，我们强调平均无故障时间 (MTBF) 越长越好，这只是期望，作为生产商来说，一旦产品完成生产，其平均无故障时间 (NTBF) 就已确定，使用阶段只能维持产品的可靠性，一旦出现故障，则要求出现故障后修复时间越短越好，这就是平均修复时间 (MTRR) 值。光伏产品由于往往安装在偏僻地区，当地维修力量又很薄弱，因此其平均修复时间太长。表 4 是根据

我公司调查得到的 SN48100C 型逆变电源在通信领域应用和光伏领域应用的平均故障修复时间 (MTTR) 值, 可见应用于光伏领域的逆变电源平均修复时间很长。这个指标急得改进, 分析主要原因, 除了维修人员无法克服遥远的空间距离外, 有的属人为因素, 如某小型光伏电站处于蓄电池亏电状态, 但岛上官兵不能取得电力, 便私自从蓄电池上直接取电, 导致蓄电池的过早损坏。又如内蒙古有一批光伏电站, 为降低成本采用变频调速器取代逆变器 (此方案严重错误), 系统失效后无人问津, 导致系统平均故障修复时间遥遥无期。

3) 元器件质量低下是光伏供电系统可靠性指标偏低的一大原因。光伏供电系统由于缺乏批量生产能力, 生产企业规模较小, 质量管理体系不健全, 导致零部件进厂检查、平估环节出现漏洞。另外, 产品无规则式的恶性竞争, 导致产品价格急剧下跌, 迫使生产商不顾及元件质量进行采购。根据我公司统计, 光伏照明产品中灯头、直流灯具、开关等配件的寿命不高, 除了电路设计方面问题以外, 灯管质量、功率器件质量均存在问题, 而且绝大多数企业没有建立元器件质量控制机构和有效的控制方法。

表 4

	通信电力应用	光伏领域
运行数量	500 台	100 台
一年后故障数量	7 台	3 台
平均故障修复时间	18 小时	170 小时

2 光伏供电系统可靠性指标的提高

要提高光伏供电系统的可靠性, 必须根据光伏供电系统的特点, 采用相应的可靠性设计方法, 对于不可维修的光伏产品, 如太阳能电池板、蓄电池、灯具等, 必须从制定和贯彻可靠性设计准则, 元器件的正确选择与使用, 降额设计、耐环境设计等入手, 严格执行相关行业标准。

对于可维修的光伏供电系统, 除了采用相关的可靠性准则、合理选用光伏零部件外, 本文根据光伏系统的特点, 采用了冗余设计技术, 使系统可靠性指标大大提高。

冗余设计是在系统或设备完成任务起关键作用的地方, 增设一套以上完成相同功能的通道、单元或元件, 当该部分出现故障时, 系统仍能正常工作, 以减少系统或设备故障率, 这种方法特别适合应用于光伏系统。光伏供电的工作原理如图 1 所示, 其中光伏阵列和蓄电池为不可修复部件, 且经过一定数量的串、并联形成, 将 DC—DC 充电控制器作并联冗余设计。如图 2 所示, 这样将大大提高系统的可靠性。

3 结论和建议

1) 光伏供电系统可靠性指标不高的主要原因是缺乏可靠性设计, 建议同行、专家一起合作, 建立完善准确的可靠性模型, 并在相关的国家标准中对可靠性指标作出定量要求。

2) 光伏供电系统在故障后修复时间均很长, 这样不仅对用户造成停电损失, 也严重影响了光伏系统的声誉, 影响了光伏系统的推广和市场。

3) 光伏系统的可靠性提高, 除了对各零部件可靠性急待提高外, 对可维修部件及整个光伏系统, 采用冗余设计是提高平均无故障时间、降低平均故障修复时间的有效方法。

4) 建议光伏企业建立完善的质量管理体系, 努力降低产品的早期失效率。

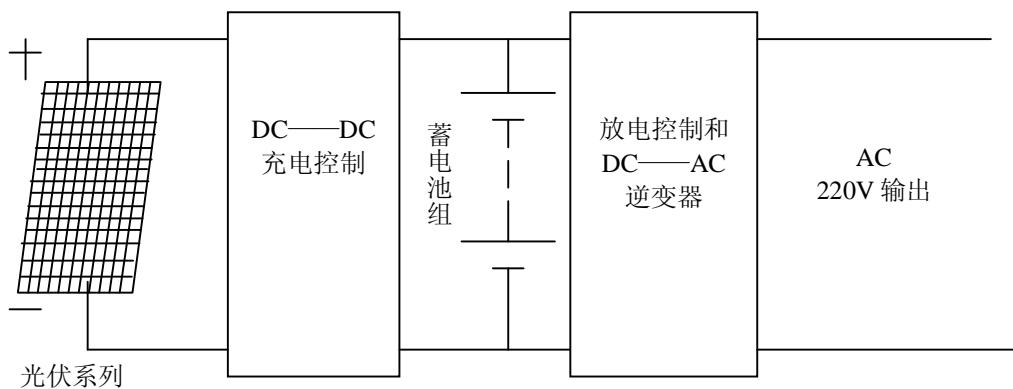


图 1

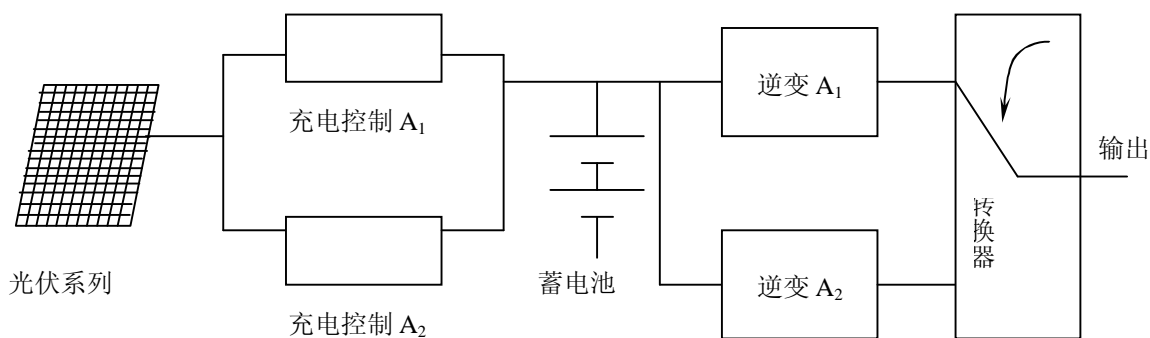


图 2

1

¹ 《光伏系统的可靠性分析》发表于 2001 年《太阳能》期刊的第 1 期。