ICS 27.160
CCS F 12

团 体 标 准

T/CPIA 0042.1—2022

光伏直驱电器控制器
第 1 部分：通用要求

Photovoltaic direct-driven appliance controllers—Part 1: General requirements

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

2022-12-30 发布 2023-01-15 实施

中国光伏行业协会 发 布

目　　次

前言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　光伏直驱电器控制器的总体要求 1
4.1　典型光伏直驱电器控制器拓扑图 1
4.2　测试条件 2
4.3　额定输出电压/功率 2
4.4　启动参数 2
4.5　变流单元之间协同合作 2
5　接口和对应的变流单元的要求 2
5.1　光伏接口和光伏侧 DC/DC 变流单元 2
5.2　电网接口和电网侧 AC/DC 变流单元 2
5.3　储能接口和储能侧 DC/DC 变流单元 2
5.4　变频负载接口和 VFD 变流单元 3
5.5　直流负载接口 3
5.6　通讯接口 3
5.7　其他能源接口（可选） 3
6　光伏直驱电器控制器的功能和性能要求 3
6.1　并网性能要求 3
6.2　电网电压/频率异常响应 3
6.3　并网 DC/AC 变流单元的功率因数调节功能 4
6.4　发电、用电模式间动态切换 4
6.5　电压动态瞬变范围 4
6.6　电压瞬变恢复时间 4
6.7　逆功率控制 4
6.8　光伏直驱电器控制器充放电性能 4
6.9　综合能源利用效率 5
6.10　电网恒限功率 5
7　信号处理中心 5
附录 A（资料性）　直流母线开放式光伏直驱电器控制器拓扑图 7
附录 B（资料性）　光伏直驱电器控制器测试图 8
附录 C（资料性）　直流母线电压的动态响应 9
附录 D（资料性）　综合能源利用率 10
附录 E（资料性）　电网恒限功率 11

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

T/CPIA 0042《光伏直驱电器控制器》分为以下两部分：

——第1部分：通用要求。

——第2部分：运行模式和显示。

本文件为T/CPIA 0042的第1部分。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：珠海格力电器股份有限公司、国创能源互联网创新中心(广东)有限公司、中国电子技术标准化研究院、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、华为数字能源技术有限公司、国家太阳能光伏产品质量检验检测中心、华能国际电力江苏能源开发有限公司、阳光电源股份有限公司、北京交通大学。

本文件主要起草人：范凌云、刘天军、唐文强、安宏迪、王赶强、刘正新、王淑超、吴晓丽、陈石、曹雪原、童亦斌。

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

光伏直驱电器控制器　第1部分　通用要求

1　范围

本文件规定了光伏直驱电器控制器的总体要求、接口和对应的变流单元的要求、功能和性能要求、信号处理中心要求。

本文件适用于直流电压不高于1500 V和交流电压不高于1000 V的光伏直驱电器控制器。

2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 33589—2017　微电网接入电力系统技术规定

IEC TS 61836:2016　光伏能源系统　术语、定义和符号（Solar photovoltaic energy systems—Terms, definitions and symbols）

3　术语和定义

IEC TS 61836:2016界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光伏直驱　photovoltaic direct-driven; PVDD

光伏电力产生的直流电直接驱动负载。

3.2

光伏直驱电器控制器　photovoltaic direct-driven appliance (PVDDA) controller

用于转换和管理在源侧（例如光伏方阵、电网、储能电池等）与电器负载侧（例如空调，冰箱，水泵等）之间功率流动的设备。

3.3

变频驱动单元　variable frequency drive; VFD

光伏直驱电器控制器中可以根据负载功率需求调整输出频率的单元。

4　光伏直驱电器控制器的总体要求

4.1　典型光伏直驱电器控制器拓扑图

一个典型的光伏直驱电器控制器包括并网双向AC/DC功率换流单元，用于光伏方阵的MPPT，储能电池的充电/放电控制器，可变频的负载驱动器。典型光伏直驱电器控制器拓扑图见图1。其中，直流母线可以开放外接其他能源或负载，VFD可具有工频输出能力。光伏直驱电器控制器也可以根据需要求开放直流母线，直流母线开放式光伏直驱电器控制器拓扑图参照附录A。

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

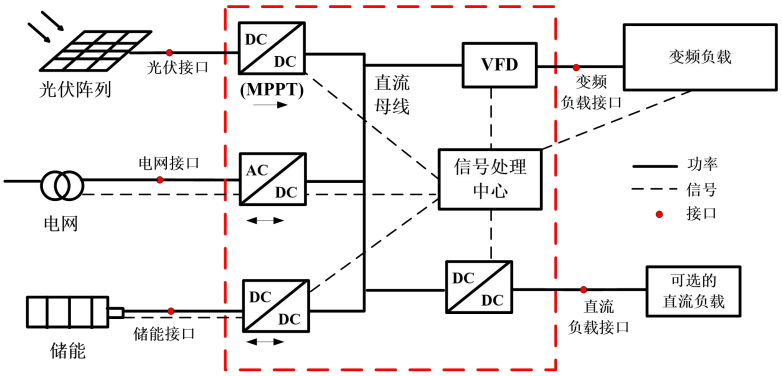

图 1　光伏直驱电器控制器（图中红框内）拓扑图

4.2　测试条件

本文件中的测试需满足以下条件：

a)　温度为15 ℃到40 ℃；

b)　相对湿度为5 %到75 %；

c)　大气压值为75 kPa到106 kPa；

d)　没有结霜、凝露、渗水、淋雨、日照等现象；

e)　额定输入电压/功率：光伏直驱电器控制器的交流输入端口电压和功率，不应超过额定输入的10 %；光伏直驱电器控制器的直流输入端口电压和功率，不应超过直流端口规定的输入工作电压和输入功率限值范围。

4.3　额定输出电压/功率

光伏直驱电器控制器在正常启动后，其交流输出电压/功率，以及直流输出电压/功率符合技术指标的设计要求。

4.4　启动参数

在厂家说明书中规定的输入电气参数范围内，光伏直驱电器控制器应能正常启动。

4.5　变流单元之间协同合作

变流单元应具有在不同的工作模式下执行各自功能，且与其他变流单元协同合作以维持系统正常工作的能力。系统所有可能的工作模式见T/CPIA 0042.2—2022。

5　接口和对应的变流单元的要求

5.1　光伏接口和光伏侧 DC/DC 变流单元

光伏接口的参数（电压，电流和功率）应与系统适配。MPPT可以作为集成的功能。它需要与电网侧AC/DC变流单元以及储能侧DC/DC变流单元协同合作以使直流母线电压处于稳定状态，并具备在瞬时冲击下进行有功功率的响应能力。

5.2　电网接口和电网侧 AC/DC 变流单元

除非有特别的条款说明，电网接口参数应符合GB/T 33589—2017的要求。电网侧AC/DC变流单元是一个双向变流单元。可以通过控制使它在并网馈网或并网非馈网的状态下都能正常工作。并应能与光伏侧DC/DC变流单元以及储能侧DC/DC变流单元合作来保持直流母线电压处于稳定状态，并具备在瞬时冲击下进行有功功率的响应能力。

5.3　储能接口和储能侧 DC/DC 变流单元

储能接口参数（电压，电流和功率）应与储能电池适配，而且它需要包含通信接口来交互实时的能源信息。

DC/DC变流单元应能监测储能的实时信息，并将其传递给信号处理中心，并可执行信号处理中心的命令来控制储能的充/放电。同时应能与光伏侧DC/DC变流单元以及电网侧AC/DC变流单元协同合作来保持直流母线电压处于稳定状态，并具备在瞬时冲击下进行有功功率的响应能力。

5.4 变频负载接口和VFD变流单元

变频负载侧接口的参数(电压，频率，电流和功率)应该与变频负载侧适配。

变频驱动单元可以被信号处理中心控制来快速响应变频负载的需求变化。变频驱动单元(VFD)的输出范围要求应该在产品的说明书中有规定。变频控制器的输出点电能质量，诸如电压不平衡度、谐波电流也应规定在说明书中。

5.5 直流负载接口

这是一个可选的直流负载接口。当直流负载连接到该接口时，其额定参数应与直流负载接口适配，负载接口电压额定值宜从48 V、375 V或400 V、750 V选取：

在4.2规定的试验条件下运行时，光伏直驱控制器的直流输出端口测得的电压，应满足如下要求：

选取额定电压为375 V或400 V、750 V时，波动范围不应超过额定值的-20 %～5 %；

选取额定电压为48 V时，波动范围不应超过额定值的-5 %～+5 %。

5.6 通讯接口

光伏直驱电器控制器宜具有与储能通讯的接口和与电网通讯的接口。

5.7 其他能源接口（可选）

光伏直驱控制器可具有一个开放接口，以外接其他类型能源。当需要时，应规定对接入能源的输入要求。

6 光伏直驱电器控制器的功能和性能要求

6.1 并网性能要求

光伏直驱电器控制器并网性能要求除以下条款外，应符合GB/T 33589-2017的要求。光伏直驱电器控制器测试图参见附录B。如果光伏直驱电器控制器具有开放的直流母线，直流母线电压的动态响应参见附录C。

6.2 电网电压/频率异常响应

6.2.1 电网电压异常响应

当异常电压在电网出现时，与之相连的光伏直驱电器控制器应作出响应，响应具体要求如下表1所示：

表1 异常电压响应

电网接口处电压U	运行要求
U＜50 % U_N	0.2 s 内切换为离网模式
50 % U_N≤U＜90 % U_N	2.0 s 内切换为离网模式
90 % U_N≤U＜110 % U_N	连续运行
110 % U_N≤U＜135 % U_N	2.0 s 内切换为离网模式
135 % U_N≤U	0.2 s 内切换为离网模式
注：U_N指当地电网标称电压，电压值为均方根值。	

在表中规定的时间内切换为离网模式的目的是为了保证设备的稳定运行。如果在要求的切换时间内电压恢复到正常的电网持续运行状态，无需切换为离网模式。

6.2.2 电网频率异常响应

当异常频率在电网出现时，与之相连的光伏直驱电器控制器应作出响应，响应具体要求如下表 2 所示：

表 2 异常频率响应

电网接口处频率 f	运行要求
$f<f_N-0.5$ Hz	0.2 s内切换为离网模式
$f_N-0.5$ Hz≤f≤$f_n+0.2$ Hz	持续运行
$f_N+0.2$ Hz<f_N	0.2 s内切换为离网模式

在表中规定的时间内切换为离网模式的目的是为了保证设备的稳定运行。如果在要求的切换时间内频率恢复到正常的电网持续运行状态，无需切换为离网模式。

6.3 并网 DC/AC 变流单元的功率因数调节功能

光伏直驱电器控制器的功率因数应在超前0.95～滞后0.95范围内连续可调。

如果电网要求光伏直驱电器控制器工作在固定的功率因数模式下，光伏直驱电器控制器应具有这个功能，该功能默认处于禁用状态。

6.4 发电、用电模式间动态切换

光伏直驱电器控制器在纯发电与纯用电模式之间切换时的动态切换时间最长不应超过100 ms。

6.5 电压动态瞬变范围

在阻性负载（平衡负载）条件下，负载从0%上升至100%或从100%下降至0%突变时，光伏直驱电器控制器输出电压瞬变值应小于控制值的10 %。

6.6 电压瞬变恢复时间

在阻性负载（平衡负载）条件下，负载从0%上升至100%或从100%下降至0%突变时，光伏直驱电器控制器输出电压恢复到下一个稳态的时间应≤40 ms。

6.7 逆功率控制

电网侧AC/DC变流单元应该具备有逆功率控制功能。

按表3进行测试，将光伏模拟电源输出功率设置为50 %额定功率，接入光伏直驱电器控制器光伏输入端口，储能电池模拟器输出功率设置为50 %额定功率，接入光伏直驱电器控制器储能输入端口，负载设置为10 %额定功率，待电网侧功率稳定后，使用功率分析仪记录至少60 s光伏直驱电器控制器并网位置的功率，结果应符合试验要求中的规定；同样需要将负载功率调节为25 %，50 %，75 %功率以及空载进行测试，试验结果应符合试验要求中的规定。

表 3 光伏直驱电器控制器逆功率控制测试

负载功率	电网侧测得的输入功率限值
10 %	≤2 %
25 %	≤2 %
50 %	≤2 %
75 %	≤2 %

6.8 光伏直驱电器控制器充放电性能

6.8.1 电网电压异常响应电网电压异常响应

光伏组件通过光伏直驱电器控制器给储能充电的最大转换效率η_1不低于96 %。

6.8.2 电网给蓄电池充电效率

电网通过光伏直驱电器给储能充电的最大转换效率η_2不低于92 %。

6.8.3 光伏给电网供电效率

光伏组件通过光伏直驱电器控制器给电网供电的最大转换效率η_3不低于97 %。

6.8.4 稳压精度

光伏直驱电器控制器在稳态状态下工作时，对储能充电输出端口的电压的稳压精度应不低于±2 %。

6.8.5 稳流精度

光伏直驱电器控制器在稳态状态下工作时，对储能充电输出端口的电流的稳流精度应不低于±5 %。

6.8.6 限压功能

光伏直驱电器控制器在对储能充电时，当控制器处于稳流充电状态并且电池电压最高的单体电压达到规定值时，充电电流应自动减小，使最高单体电池电压应不超过储能电池组规定的限压值，充电电压自动调整范围应满足电池充电要求。

6.8.7 限流功能

充电开始阶段，应根据电池的需要采取必要的限流措施，避免冲击电流对电池及光伏直驱电器控制器的损害。

对电池充电时，当光伏直驱电器控制器处于稳压充电并且充电电流达到规定值时，充电电压应自动减小，使最高单体电池电压应不超过储能电池规定的限压值，充电电压自动调整范围应满足电池充电需求。

6.8.8 充放电切换时间

光伏直驱电器控制器给储能充电时，由90 %额定功率充电状态切换到90 %额定功率放电状态或反过来切换时，与所需时间的均值不小于100 ms。

6.8.9 光伏直驱利用效率

光伏直驱电器控制器工作在光伏直接给电器供电时的供电效率应不小于95 %。

6.9 综合能源利用效率

光伏直驱电器控制器的并网综合能源利用效率和离网综合能源利用效率评价方法参照附录D。

6.10 电网恒限功率

电网恒限功率要求仅适用于电网对光伏直驱电器控制器有防逆流功能要求的情形，测试方法参见附录E。

7 信号处理中心

信号处理中心应该具备监测、转换通信协议、数据计算和信号控制功能。

这些变流单元应该可以协同合作来执行下面3种供能模式：

a) 电器优先模式，在这种模式下，电器的运行具有最高的优先级。控制策略的关键点是保证电器能够稳定地运行，从而可以给用户提供一个良好的体验。

b) 调节电网功率/峰谷经济运行，在这种模式下，光伏直驱电器控制器会与电网通信且监测电网的状态。结合电网电压波形的峰值和谷值，且考虑峰谷电价，光伏直驱电器控制器确定是否反馈功率给电网或消耗电网功率。这种功能模式下执行的是节能或经济性原则。

c） 恒功率运行，在这种模式下，光伏系统可以通过控制系统内部的功率流向与电网进行固定功率的交互。在这种情形下，将有利于发电厂和电力配电网络。同时，它将会减少分布式能源的波动对电网的冲击。它也将有利于电网将电力分配给用户。

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

附　录　A
（资料性）
直流母线开放式光伏直驱电器控制器拓扑图

直流母线开放式光伏直驱电器控制器拓扑图如图A.1所示。其中直流母线接口可接其他形式能源或直流负载。

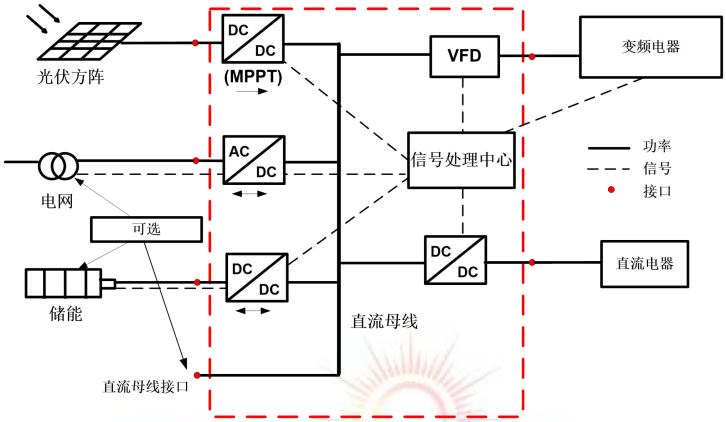

图 A.1　直流母线开放式光伏直驱电器控制器拓扑图

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

附　录　B
（资料性）
光伏直驱电器控制器测试图

光伏直驱电器控制器测试图可参考图B.1。

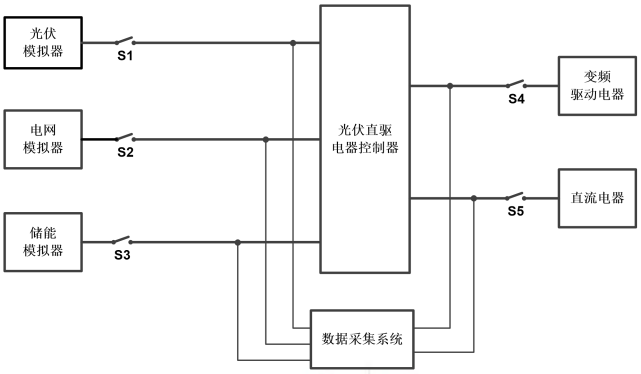

图 B.1　光伏直驱电器控制器测试图

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

附 录 C
（资料性）
直流母线电压的动态响应

如果光伏直驱电器控制器具备开放的直流母线接口，当光伏直驱电器控制器具有两个或以上功率输入源，在不同功率源之间切换时，光伏直驱电器控制器应能提供相对稳定的直流母线电压，保证负载可以正常工作。在过渡期间，直流母线电压波动不应该超过额定值的±30 %，且过渡时间不应该超过200 ms。

以下是光伏直驱电器控制器具有三个功率输入源（光伏方阵、储能、电网）时，功率输入源间切换可能会对直流母线电压造成波动的几种典型的情况：

a） 光伏发电系统 100 %提供给负载能量切换为公共电网供电 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器控制器应连接到等效与图 1 所示的电路中，使 S1、S2、S4、S5 保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，调节光伏模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向电网发电状态，断开 S1。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

b） 公共电网供电 100 %提供给负载能量切换为光伏发电系统 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器控制器应连接到等效与图B.1所示的电路中，使S2、S4、S5保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，闭合S1，调节光伏模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向电网发电状态。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

c） 光伏发电系统 100 %提供给负载能量切换为储能系统供电 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器控制器应连接到等效与图B.1所示的电路中，使S1、S3、S4、S5保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，调节光伏模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向储能充电状态，断开S1。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

d） 储能系统供电 100 %提供给负载能量切换为光伏发电系统 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器应连接到等效与图B.1所示的电路中，使S3、S4、S5保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，闭合S1，调节光伏模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向储能充电状态。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

e） 储能系统供电 100 %提供给负载能量切换为公共电网供电 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器控制器应连接到等效与图B.1所示的电路中，使S2、S3、S4、S5保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，调节ES模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向电网发电状态，断开S3。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

f） 公共电网供电 100 %提供给负载能量切换为储能系统供电 100 %提供给负载能量：

测试时光伏直驱电器控制器应连接到等效与图B.1所示的电路中，使S2、S4、S5保持闭合，变频电器和直流电器处于正常工作状态，闭合S3，调节ES模拟电源，使光伏直驱电器控制器处于向电网发电状态。使用数据采集装置记录直流母线端口电压及负载侧的电压、电流，应满足要求。

附 录 D
（资料性）
综合能源利用率

D.1 并网综合能源利用效率

当光伏直驱电器控制器连接到电网时，储能只作为辅助能源，按照如下方法评定并网综合能源利用效率。

在额定负载条件下，选取表D.1中规定的5 种工作状态时，并按公式（D.1）计算：

$$\eta_a=\frac{\eta_{a1}+\eta_{a2}+\eta_{a3}+\eta_{a4}+\eta_{a5}}{5} \quad \text{（D.1）}$$

式中：

η_a ——并网混合能源利用率的平均值；

$\eta_{a1\sim5}$——5 种工作状态的并网混合能源利用率。

表 D.1 并网混合能源利用率

工作状态	光伏方阵提供的功率	电网提供的功率	能源利用率
1	0 %	100 %	η_{a1}
2	25 %	75 %	η_{a2}
3	50 %	50 %	η_{a3}
4	75 %	25 %	η_{a4}
5	100 %	0 %	η_{a5}

D.2 离网综合能源利用率

当光伏直驱电器控制器处于离网状态时，按照如下方法评定离网综合能源利用效率。

在额定负载条件下，选取表D.2中规定的5 种工作状态时，并按公式(D.2)计算：

$$\eta_b=\frac{\eta_{b1}+\eta_{b2}+\eta_{b3}+\eta_{b4}+\eta_{b5}}{5} \quad \text{（D.2）}$$

式中：

η_b ——离网混合能源利用率的平均值；

$\eta_{b1\sim5}$——5 种工作状态的并网混合能源利用率。

表 D.2 离网混合能源利用率

工作状态	光伏方阵提供的功率	储能提供的功率	能源利用率
1	0%	100%	η_{b1}
2	25%	75%	η_{b2}
3	50%	50%	η_{b3}
4	75%	25%	η_{b4}
5	100%	0	η_{b5}

CPIA 中国光伏行业协会 China Photovoltaic Industry Association

附　录　E
（资料性）
电网恒限功率

在防逆流等特殊状态条件下可以启用这个功能。

如果一个光伏直驱电器控制器具有该功能，当地市电网可以工作在对光伏系统的恒（限）功率控制状态下。光伏直驱电器控制器开启电网恒（限）功率控制功能后，将从电网获取固定能量的功率，且可以通过设定的阈值进行调节。

按如下表E.1进行测试。首先将光伏直驱电器控制器电网恒（限）功率控制设定阈值为25 %，调节负载功率从0 %开始至100 %，当负载端口侧的功率稳定后，电网侧的实际用电功率应与预设值之间的偏差应不超过±2%。光伏直驱电器控制器电网恒（限）功率控制的阈值设定为50%及75%，也应该被测试。

表 E.1　电网恒（限）功率控制测试

负载功率	电网预设功率 25 %		电网预设功率 50 %		电网预设功率 75 %	
	实测功率	百分比（%）	实测功率	百分比（%）	实测功率	百分比（%）
0 %						
10 %						
20 %						
30 %						
40 %						
50 %						
60 %						
70 %						
80 %						
90 %						
100 %						

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association