

# 安全产业研究

赛迪工业和信息化研究院 主办

2022年10月25日

第 4 期

总第 51 期

## 本期主题

- 光伏的安全风险问题研究

## 国际观察

- 国外光伏安全应用的措施

## 企业研究

- 天合光能：专注光伏智慧能源创新

## 数据之窗

- 2010-2021 年我国光伏发电累计装机容量情况
- 2022-2030 年我国光伏新增装机预测（单位：GW）
- 2017-2021 年中国光伏硅片产量（单位：GW）
- 2021 年中国光伏电池制造产能区域分布

# 研究，还是研究 才使我们见微知著

规划研究所

工业经济研究所

电子信息研究所

集成电路研究所

产业政策研究所

科技与标准研究所

知识产权研究所

世界工业研究所

无线电管理研究所

信息化与软件产业研究所

军民融合研究所

政策法规研究所

安全产业研究所

网络安全研究所

中小企业研究所

节能与环保研究所

材料工业研究所

消费品工业研究所

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：王乐

联系电话：010-68200552 13701083941

传真：010-68209616

网址：[www.ccidwise.com](http://www.ccidwise.com)

电子邮件：[wangle@ccidgroup.com](mailto:wangle@ccidgroup.com)

## 『所长导读』

2022年6月1日，国家发展改革委、国家能源局等9部门联合印发了《“十四五”可再生能源发展规划》（以下简称《规划》）。《规划》提出，要大力推进风电和光伏发电基地化开发、分布式开发和水风光综合基地一体化开发，并建设“十四五”重大陆上新能源基地、“十四五”水风光综合基地等。光伏的安全应用是光伏产业高效可持续发展的基础保障，评价光伏应用风险、有效实现光伏的安全应用是落实《规划》要求的基础。

本期主题文章为《光伏的安全风险问题研究》。文章归纳了光伏产业的基本情况，分析了光伏的主要安全风险及典型事故，提出了提升光伏安全生产水平的对策建议。国际观察部分：《国外光伏安全应用的措施》，总结了光伏发电安全聚焦重点和促进光伏发电安全应用的措施，为我国光伏发电安全发展提出了几点启示。企业研究：《天合光能：专注光伏智慧能源创新》，总结了光伏龙头企业天合光能股份有限公司的发展现状和发展特点，为我国光伏企业发展提出了几点启示。

本期内容由程明睿、黄玉垚、黄鑫等研究人员承担了主要研究工作，不足之处欢迎业界批评和指正。

赛迪研究院安全产业研究所所长 高宏

2022年10月25日



# 目录

## CONTENTS

### 本期主题：光伏的安全风险问题研究

一、光伏产业的基本情况	1
（一）光伏产业政策环境良好	1
（二）光伏技术发展趋势	2
（三）光伏产业链及主要部件	3
二、光伏的主要安全风险及典型事故	3
（一）硅料及硅片生产的相关风险因素及典型事故	4
（二）电池片及光伏组件生产的相关风险因素及典型事故	5
（三）光伏应用的相关风险因素及典型事故	6
三、提升光伏安全生产水平的对策建议	7
（一）坚持提升光伏全产业链安全水平	7
（二）科技创新提升光伏本质安全水平	7
（三）加强宣传教育提升光伏产业安全水平	8

## 本期主题：

# 光伏的安全风险问题研究

光伏产业是新能源产业的重要组成部分，我国光伏产业规模位居全球首位，行业市场份额占有率全球领先。2021年底，我国光伏组件产量已经连续15年全球第一，以累计产量计算，全球75%以上的光伏组件源于我国。我国光伏企业的企业规模和研发能力世界领先，在硅料、硅片、电池、组件等光伏组件的四大主要产业链环节中，我国全球产量前十的企业数量分别达到了7家、10家、9家和8家，基本把持了行业的龙头位置。在安装应用方面，逆变器则是其中的关键设备，该行业产业布局已经基本成型，目前较为活跃的在产企业超过20余家，我国企业数量占比超过75%。

光伏的安全应用囊括了光伏产品生产、安装、使用的各个环节。总体来看，光伏行业生产安全形势较好，行业较少出现较大及以上事

故，因此与氢能等安全风险较高的新能源相比，在我国光伏产业规划中，安全生产并非强调重点。但由于光伏产业链横跨化工、电力、土建等多个领域，行业总体安全风险类型丰富，涉及危化品、高压电、压力容器等多种具有潜在安全风险的生产因素，对安全生产工作要求较高。

## 一、光伏产业的基本情况

（一）光伏产业政策环境良好  
为促进光伏在各行业中的应用，我国各部委陆续发布了系列政策，以提升光伏应用水平，加快光伏发电应用铺开。

在“光伏+工业”领域，工业和信息化部发布了《“十四五”工业绿色发展规划》，提出要加大光伏等绿色低碳产品供给，发展大尺寸高效光伏组件，推动智能光伏创新升级和行业特色应用；生态环境

部发布了《关于推进国家生态工业示范园区碳达峰碳中和相关工作的通知》，要求优化能源结构和产业结构，开展能源替代技术，从碳达峰碳中和的角度推进光伏等新能源产业发展。

在“光伏+农业农村”领域，国家能源局、农业农村部和国家乡村振兴局联合发布了《加快农村能源转型发展助力乡村振兴的实施意见》，提出要巩固光伏扶贫工程成效，加强对光伏扶贫电站的运维管理，开展分布式光伏发电，鼓励能源企业积极参与投资建设光伏+现代农业。

在“光伏+交通”领域，国务院发布了《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》，提出要推广低碳设备设施，开展光伏发电和储能设施布局，推动交通用能低碳多元发展。

在“光伏+建筑”领域，住建部、国家发改委等七部门联合发布了《绿色建筑创建行动方案》，提出要提升建筑能效水平，推广可再生能源应用；住房和城乡建设部、教育部、科技部等九部门联合发布

了《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》，提出要推进发展智能建造技术，推动智能光伏应用示范，促进与建筑相结合的光伏发电系统应用。

## （二）光伏技术发展趋势

产业链上游硅片大尺寸化成为未来发展趋势。大尺寸硅片能够有效提升组件功率、降低单位成本，硅片生产企业纷纷布局大尺寸硅片生产，2020年市场上最大硅片尺寸达210mm。对现有电池生产线来讲，158.75mm和166mm硅片分别是其最易升级的方案和可升级的最大尺寸方案，因此158.75mm和166mm尺寸的硅片市场份额最大，占比合计达到77.8%，也是未来2到3年的过渡尺寸；156.75mm、157mm硅片市场份额快速下降，由2019年占据市场的主要份额下降为2020年的17.7%，预计在2022年左右被淘汰；182mm和210mm尺寸硅片合计占比约4.5%，但预期其在2021年的市场份额将快速扩大。

双面组件市场份额将逐年提升。双面组件具有两面皆可发电、耐候性更好的特性，近年来随着下

游应用端对于双面组件发电增益的认可，其应用范围逐渐扩宽。在美国豁免双面组件 201 关税积极影响和玻璃价格上涨消极影响的共同作用下，2020 年双面组件市场份额总体呈快速增长趋势，2020 年达 29.7%，较 2019 年上涨 15.7 个百分点。随着 2021 年玻璃供应形势逐渐好转，双面发电组件的应用规模进一步扩大，预计将在 2023 年追上并超过单面组件市场份额。

电池技术快速发展。PERC 电池是光伏行业普遍采用的高效电池技术，PERC 电池按照每年 0.3 个百分点的速度提升，2021 年新建量产产线以 PERC 电池产线为主，PERC 电池片市场占比进一步提升至 91.2%。对于 N 型电池，则以 TOPCon 和 HJT 为代表，其中 TOPCon 电池有望快速实施量产。据中国光伏行业协会（CPIA）预测，至 2023 年 N 型电池所占市场份额将会提升至 23% 左右，并在 2027 年左右超越 PERC 成为主导电池技术。

### （三）光伏产业链及主要部件

光伏产业链包括光伏上游原材料、光伏设备、光伏安装与光伏电

站建设运维等环节。其中，光伏上游原材料包括硅料、硅棒 / 硅锭、硅片、辅材辅料等，涉及的主要装备包括氢化炉、还原炉、精馏塔、活性炭吸附塔、压缩机、多晶铸锭炉、单晶炉、多线切割机、分选检测设备；光伏设备包括电池片、组件等，涉及的主要装备包括清洗 / 制绒设备、扩散炉、背钝化设备、PECVD、激光开槽机、丝网印刷机、测试分选设备、激光划片机、串焊机、层压机、测试设备等；光伏安装与光伏电站建设运维主要是分布式光伏发电系统、光伏电站的集成与建设等，涉及的主要装备为光伏组件、逆变器、支架及其他电力设备等。

## 二、光伏的主要安全风险及典型事故

光伏行业可粗略分为上游硅料及硅片生产、中游电池片及光伏组件制造、下游光伏应用三大环节：上游包括原料高纯度多晶硅材料的生产、单晶硅和多晶硅的制造、硅片的生产；中游包括光伏电池、光伏组件（玻璃、支架等）以及逆变器环节；下游是光伏发电的应用

端，主要包括光伏电站和分布式发电。根据生产应用流程的不同，光伏三大环节的主要安全风险有所差别。但总的来讲，光伏行业的安全风险对人的生命安全威胁较低，生产安全不是阻碍光伏行业发展的主要矛盾因素。

### （一）硅料及硅片生产的相关风险因素及典型事故

硅料及硅片生产的相关风险因素主要存在于单晶硅和多晶硅生产环节。单晶硅生产主要包括直拉法和区熔法；多晶硅生产与化工行业贴近，目前主流工艺为改良西门子法，该方法工艺成熟、产品质量稳定、生产安全性高，被 90% 以上的多晶硅生产厂家采用。单晶硅、多

晶硅生产过程中则会使用或产生多种危险化学品，包括氢氟酸、氢氧化钾、氢气、氯气、氯化氢、三氯氢硅、四氯化硅等易燃易爆有毒有害气体。在硅料生产过程中，还存在火灾、爆炸、中毒、窒息、触电伤害等诸多危险因素。

单晶硅生产主要面临的安全问题是漏硅导致的各类事故。其产生原因包括熔料时装料结构不合理；晶棒掉坩砸破坩埚底部；回熔操作不规范；装料时误将坩埚损伤；等径时原料结晶，致使结晶粘住晶体导致坩埚撕裂；原料进检不合格，导致的坩埚严重腐蚀；石墨坩埚底部缝隙较大造成坩埚疲劳，导致渗硅、漏硅等。

表 1 多晶硅生产过程中的主要风险因素

序号	生产过程	主要设备	风险因素
1	氢气制备	电解槽、氢、氧贮罐等	火灾爆炸、触电、机械伤害
2	氯化氢合成	氯化氢合成炉、氯气、氢气缓冲罐等	火灾爆炸、中毒、触电
3	三氯氢硅合成	三氯氢硅合成炉、合成气洗涤塔、供料机等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害、粉尘
4	合成气分离	混合气洗涤塔、氯化氢吸收塔、氯化氢解析塔、混合气压缩机等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害
5	氯硅烷分离	精馏塔、再沸器、冷凝气等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害

序号	生产过程	主要设备	风险因素
6	三氯氢硅还原	三氯氢硅汽化器、还原炉、还原炉冷却水循环泵等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害
7	还原尾气分离	混合气洗涤塔、混合气压缩机、氯化氢吸收塔等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害
8	四氯化硅氢	化四氯化硅汽化器、氢化炉等	火灾爆炸、中毒、腐蚀、触电、机械伤害

数据来源：根据网上公开资料整理，2022,09

硅料及硅片生产过程中的典型事故主要为火灾爆炸事故。我国发生的该类事故以财产损失居多，亡人事故较少。硅料厂发生的该类事

故多导致停产整顿，作为上游的主要产能来源，事故导致的产能下降会提升原材料价格，对光伏产业下游造成冲击。

表 2 硅料及硅片生产典型事故

序号	发生时间	事故情况
1	2015年7月13日	四川乐山五通桥区永祥多晶硅精馏塔发生泄露燃烧，无人员伤亡。
2	2020年7月19日	保利协鑫新疆多晶硅工厂因精馏装置泄漏而导致燃烧爆炸，事发后停产。
3	2021年7月4日	云南省德宏州盈江金源硅业公司发生电炉内硅水喷出事故，致8人烫伤。
4	2022年6月17日	东方希望集团在新疆准东经济开发区的一期多晶硅项目起火，该事故是由多晶硅厂内的过热器泄露停机引起的。事发后该厂提前进入检修期。

数据来源：根据网上公开资料整理，2022,09

## （二）电池片及光伏组件生产的相关风险因素及典型事故

电池片及光伏组件生产的相关风险因素主要存在于电池片生产环节。常规结构电池片主要生产工艺包括清洗制绒、扩散、边缘刻蚀及去磷玻璃、沉积减反膜、丝网印刷、

烧结等，之后经过处理组成电池组件。电池组件是将多个电池片串并联后封装在玻璃之间或玻璃和背板之间而形成的发电单元，主要包括多个电池片（6×10、6×12等）、焊带（互联条、汇流条）、封装胶膜（EVA、POE）、背板、玻璃、铝

合金边框、硅胶、接线盒等。在电池封装过程中，有机硅也是重要原料之一，属于电池片生产的必备材料，作为产业链上游，相关安全

生产事故均会影响电池片产能。电池生产环节中的主要风险为火灾爆炸。

表 3 电池片及光伏组件生产典型事故

序号	发生时间	事故情况
1	2014 年 7 月 12 日	浙江省东阳市横店太阳能光伏园区横店东磁电池片生产车间发生火灾，火灾影响面积 10032 平方米，影响 6 条生产线，无人伤亡。
2	2021 年 6 月 8 日	新疆西部合盛硅业年产 20 万吨密封胶项目 997 硅氧烷成品包装车间发生火灾。
3	2021 年 11 月 25 日	隆基股份位于西安高陵的电池工厂发生起火事故，无人伤亡，但造成企业股价下跌。

数据来源：根据网上公开资料整理，2022,09

### （三）光伏应用的相关风险因素及典型事故

光伏应用的相关风险因素主要存在光伏电站安装和维护上。作为光伏设备的主要应用场景，光伏电站的安全风险因素较为丰富，包括电力安全生产风险和自然环境风险等。其中，电力安全生产风险包括过电压和技术型故障、误操作等，安装、维护光伏板时未意识到光伏电池板会在光照下发电，以及逆变器起火，是光伏应用中的主要电力安全生产风险。自然环境风险则包括水灾、火灾、风灾、雷击、地质灾害、动物噬咬和鸟粪导致的热斑

效应等，其中火灾对光伏电站致灾最为频繁的风险因素，通常由逆变器起火、光伏板下干枯草叶等可燃物起火引发；水灾主要是洪水以及暴雨造成的坍塌、泥石流等；风灾主要是大风天气和台风，在光伏电站组件夹具质量不过关的情况下风险尤为严重。此外，在分布式安装的情况下，其他行业的安全生产事故也会对光伏电站造成安全风险，如顶端采用光伏发电的厂房内，发生了击穿厂房顶端的爆炸事故等。

表 4 光伏电站典型事故

序号	发生时间	事故情况
1	2019年5月15日	福建三明市明溪县瀚仙镇龙湖村总装机容量100千瓦的龙湖村光伏电站，太阳能板、钢架等各种设施被洪水全部冲毁。
2	2020年8月29日	合肥市永聚太阳能电力开发有限公司拥有的安徽省庐江县白湖镇胜利圩种养殖基地20MW光伏电站被洪水淹没。
3	2021年2月2日	山西运城稷山县太阳能光伏发电项目所在的山坡上发生火灾，此次火灾系稷山县太阳能光伏发电项目引发。
4	2021年6月11日	苏州工业园区宝时得机械(中国)有限公司屋顶光伏起火。
5	2021年6月30日	山东聊城光伏电站因冰雹和大风受损，完全损毁的户用电站有5家左右，每家平均30千瓦，完全损失150千瓦以上，直接损失在50万以上。

数据来源：根据网上公开资料整理，2022,09

### 三、提升光伏安全生产水平的对策建议

#### (一) 坚持提升光伏全产业链安全水平

进一步完善光伏行业全产业链安全生产标准规范，为行业安全生产提供依据；加强光伏行业全产业链隐患排查治理，完善安全生产隐患排查治理工作；完善全产业链各环节安全监管体制机制，落实光伏行业企业主体责任和行业管理部门的监管责任；完善全产业链各环节的应急预案，制定切实可行的处置预案和操作规程，提升光伏行业全产业链安全应急响应能力。

#### (二) 科技创新提升光伏本质安全水平

以科技创新为核心驱动力，鼓励产业链上中下游企业加快发展生产效能高、安全效益好的新技术、新工艺，促进光伏行业的本质安全水平提升。进一步加快互联网、大数据、人工智能、5G等新一代信息技术在光伏行业安全生产工作中的应用，加快提升光伏全产业链安全隐患排查治理及风险研判处理的数字化、智能化水平，提升分布式光伏发电及光伏电站的远程安全管理能力。

### （三）加强宣传教育提升光伏产业安全水平

进一步提升光伏知识宣传教育，加快发展渔光互补、光伏治沙等跨行业合作体系，提升人民群众对光伏电站及分布式光伏的接受程度、增进光伏发电安全知识，从而

降低因不了解光伏发电能力导致的触电、火灾等事故发生几率，为光伏的广泛应用建立坚实的群众基础。

（作者：程明睿）

## 国际观察

# 国外光伏安全应用的措施

随着清洁能源转型和“碳中和”规划的实施，特别是俄乌冲突以来欧洲能源危机的爆发，促使世界各国逐渐加速探索低碳多元的能源供给模式。光伏发电作为清洁能源转型方式之一，最近几年发展速度和发展空间大幅提升。光伏发电技术的不断进步带动了装机成本的持续下降，对于降低能源成本具有重要意义。据伍德麦肯兹机构预测，2022年，全球光伏市场年新增装机容量将同比增长25%，达到197GW；2022-2031年，全球光伏并网装机容量将以年均8%的速度增长。根据各国清洁能源战略规划时间表和多家能源研究机构预测，在未来的20年，全球光伏发电占发电总量的比例将达到20%，光伏发电方式也将从传统的荒漠发电开始逐渐向农光、渔光、山地、屋顶发展，前景十分广阔。但与此同时，由于产品质量参差不齐、安装不规范、后期

运维不到位等原因而涌现的光伏安全问题，也不容忽视。借鉴国外光伏安全应用措施，对于我国实施光伏安全策略十分必要。

### 一、国外光伏发电安全聚焦重点

#### （一）光伏电池板质量问题

光伏发电是近几年发展较为迅猛的“新兴”行业，但诸如电器短路、停机、燃烧、热斑、隐裂、功率衰减组件负偏差等设备材料质量问题引发的安全事故已经屡见不鲜。例如，自2009年8月以来，荷兰Scheuten Solar Systems BV公司生产的Multisol牌太阳能电池板在欧洲已引发15起火灾，起火主要原因是在强烈阳光照射下，老化的电池板自燃，起火点主要在板与板的连接处。2012年6月，位于德国慕尼黑的某光伏电站太阳能组件发生自燃，起火点发生在屋顶太阳能光伏发电板的一个电控箱处。

2015年5月，苹果公司位于亚利桑那 Mesa 的工厂屋顶疑似因光伏发电组件不耐高温起火。

从国外部分光伏电池板安全问题案例中发现，组件的接线盒和热斑效应引发的安全问题多次出现。接线盒的质量问题是造成组件自燃的因素之一。例如，目前国际接线盒产品市场不够规范，质量问题层出不穷，瑞士史陶比尔公司生产的MC4光伏接线盒技术水平高，是世界公认的好品牌，但目前被仿制情况严重，大量仿制接线盒质量差、本质安全水平低，内部接触点少而且粗糙不平，极易引起自燃，进而烧毁组件背板引起碎裂。光伏组件的热斑效应是指在一定条件下，在串联支路中的被遮挡的无光照电池组件，被当做负载消耗其他有光照的电池组件所产生能量，使得无光照电池组件发热的现象。这种效应会破坏电池，严重影响电池寿命，还可能引发裂纹、内部连接失效甚至火灾。产生热斑效应的原因主要有两点：一是维护不及时或电池板设计不合理造成遮挡；二是电池所用硅材料质量差，造成内部缺陷、

边缘短路、栅线局部短路、烧蚀度不够或过度等。

## （二）光伏发电过程中外部环境安全风险

一是强风侵蚀隐患。如果存在支架型钢及电气设备锚固件腐蚀严重、光伏面板支架固定拉筋未紧固、支架锚固螺栓未拧紧、防风作用有限、型钢镀锌质量不满足要求等情况，组件整体刚度及稳定性不能得到有效保证，强风条件下存在支架变形、组件损坏风险。二是雷击隐患。如果存在光伏组件、组串之间未跨接，组串两端的组件接地孔也没有与金属支架连接的情况，满足不了接地要求，易存在雷击隐患。三是组件电势诱导衰减隐患（PID效应）。毗邻海边的光伏组件长期处于高温、高湿、高盐碱的环境中，容易诱发光伏组件的PID效应，严重时会引起一块组件功率衰减50%以上，从而影响整个组串的功率输出。四是组件区水土流失、边坡失稳隐患。光伏组件区域地表裸露，边坡未做防护，易受水流冲刷，导致土体流失，暴雨季节极易发生边坡垮塌事故，进而造成桩基倾斜、

沉降，组件变形损坏。五是组件区水灾隐患。组件区周边水体暴雨季节水位上涨，有可能漫过或透过坝体造成组件区淹漫，导致电站财产损失及产生一定的光伏面板清洗费用。六是山火延烧隐患。部分光伏电站周边植被茂盛，防火隔离制度不完善或未落实，导致内外部火源借助地表植被延烧，极有可能烧毁汇流箱、逆变器及组件的设备电线，并烘烤背板。集控室监控屏幕一次显示影像较少，第一时间发现山火位置较难。

### （三）光伏发电系统内部安全风险

一是主变延烧产生爆炸隐患。油浸电力变压器在运行中，由于接触不良、雷击过电压、绝缘老化、变压器过热、负载短路、外界火源等原因易导致爆炸或火灾事故，两台主变间的防火间距不足或没有设置防火墙，容易相互延烧，导致连锁爆炸。二是箱变火灾及延烧隐患。箱变变压器油总重超过 1000Kg，且现场未见储油或挡油设施，一旦发生事故，变压器泄漏出的绝缘油会四处流散。由于箱变基本处于组件

区，周围地表植被丰富，电气起火情况下极易扩大火灾范围，存在一定的火灾风险隐患。三是设备不断更新，随之带来安全风险隐患。随着用户对于光伏电池效率要求越来越高、硅片尺寸逐渐增大，光伏组件电流也随之不断增大，从而引发故障的风险（尤其是火灾风险）也越来越高。当故障发生时，产生的短路电流也相应的增大，根据焦耳定律  $Q=I^2Rt$  可知，电流增大一倍，短路点热效应增加四倍，起火的风险也随之增加。

### （四）光伏电站的应用场景安全风险

一是建筑物屋顶场景。当光伏电站所在区域遇到管制时，无法使用无人机进行组件异常扫描，隐患无法及时发现；当电站处于人口密集区域，组件方阵一旦出现漏电情况，人员触电风险较大；当电站遭遇火灾等紧急情况时，组串高压易无法关断，阻碍救援。二是煤棚、车棚、料棚、养殖棚等场景。由于顶棚不便巡检，电弧安全隐患不能及时发现；遭遇火灾等紧急情况时组串高压无法关断，阻碍救援；棚

顶脆弱，直流电弧火花易烧穿棚顶进入内部，造成重大财产损失。三是加油站、化工、面粉等厂区场景。这些属于高危场景，需要定期检测电弧、关断、报警、定位装置，有效排除隐患；同时，该场景属于易燃易爆区域，一旦安全保护措施缺位，易引起重大安全事故。四是公路、河道等区域场景。这些场景环境复杂，烟头、组件零星电弧火花易导致下方杂草燃烧；同时，地段狭长不便巡检，运维难度大，不能及时发现隐患，而且该场景远离市区，如发生火灾等事故救援困难，在车辆或其他事故损坏组件时，不能及时关断组串高压，易造成严重二次事故。

## 二、国外促进光伏发电安全应用的措施

### （一）以法规标准促进光伏发电安全

美国国家消防协会 (National Fire Protection Association) 所制定的《美国国家电气规范》(NEC2020) 要求：以距离到光伏矩阵 305mm 为界限，界限范围外，在触发设备启动后 30S 内，电压降低

到 30V 以下；界线范围内，要求具有“光伏危险控制系统”，或在触发设备启动后 30S 内，将电压降低到 80V 以下，也就是要求实现“组件级关断”。

《加拿大电气安装法规》(Canadian Electrical Code 2021 版) 要求：光伏系统直流侧电压大于 80V 时需安装电弧故障中断设备或者其它等同设备。另外，法规中还规定了：当光伏系统安装在建筑内或者建筑上，应安装快速关断装置。在光伏组件 1 米外，快速关断装置触发后，要求 30S 内将电压降低至 30V 以下。

德国标准《VDE-AR-E 2100-712》要求：在光伏系统中如果逆变器关闭或者电网出现故障时，需要使直流电压小于 120V。其中，提到了可以使用关断装置使直流侧电压降至 120V 以下。另外，标准要求在光伏系统的连接点处，如汇流箱等处，安置“光伏系统指示牌”，以明确告知此建筑装有光伏系统。如果发生火灾，消防队员可以第一时间知晓情况，而采取相应的施救措施。

意大利标准《CEI 82-25 标准》明确指出：从安全的角度来看，必须考虑到在有阳光的情况下无法安全关闭光伏系统的情况。这不仅是光伏发电系统的建造和维护阶段的一个注意事项，而且在紧急干预的情况下也是如此。

澳洲《AS/NZS 5033:2014 标准》中提到：对非交流组件或小型微型逆变器安装的系统而言，组件和逆变器之间需要安装断开装置；对交流组件或小型微型逆变器安装的系统则不需要安装直流侧断开装置。根据最新《AS/NZS 5033:2021 标准》的 4.3.3 章节提到：当直流电压大于 120V 时，组件和逆变器之间需要安装断开装置。

## （二）以先进技术手段强化光伏安全应用

以先进技术为手段促进光伏发电安全，是世界著名光伏企业的发力方向之一。美国太阳能企业 First Solar 和 SunPower 共同开发了薄膜 / 晶硅叠层电池和组件，在大幅度提高转换效率的同时，也提升组件使用寿命至 40 年。此外，美国能源部 2021 年 10 月 19 日为三个

光伏项目拨款 450 万美元，这些项目的研究重点是开发先进材料及应用技术，促进光伏系统持续使用年限增加至 50 年，比目前增长 20 年，这对于降低光伏组件更换频次及维护成本，维持发电系统稳定运行具有重大作用。

德国莱茵 TÜV 集团开发了一种开关设备，确保在整个光伏系统使用生命周期内无故障运行。目前，该设备已应用在德国光伏发电系统中，并被纳入国际光伏开关及隔离开关标准要求范畴之内。

日本光伏企业目前采用“数字技术 + 小型无人机”的新型模式，来检测光伏电站电池板故障。同时，日本开发的智能光伏电站管理平台，可对无人机采集信息进行综合分析，研判故障种类和解决方案，提升了隐患排查能力。该方法可极大提升光伏电站数字化安全管理能力和风险预警能力，同时降低了人力成本。

## （三）第三方服务为光伏安全应用保驾护航

专业的第三方检测认证对光伏产业而言，不仅能确保产品的可靠

性，更能提升企业竞争力，推动行业安全高质量发展。

德国 DEKRA 德凯可再生能源测试中心融合了全球光伏领域顶尖的专业检验检测技术团队，能够提供光伏产品一站式检验检测认证服务，可开展面向光伏产业从材料到零部件再到组件的各类产品的全方位测试和认证。

日本从 2016 年底开始，在 300 多处光伏电站上配备名为“Solamente”的安全检测设备，排查和解决光伏面板故障。

“Solamente”通过两种设备来完成故障检测：其中一个名为“String checker”，用于检测组件的电压值和电阻值，当电压值和电阻值出现不正常字符串时，就意味着组件的一部分可能出现故障。这时候，再使用第二个名为“Solar panel checker”的设备检查组件，感测组件可能出现故障的部位。当这一部位出现感测电流时，并测量其强度，可得知具体故障情况。这一维修服务的总体工作过程是通过智能化操作平台将发电站的各类数据收集，并分析可能产生的故障，再通知工

作人员解决故障。

### 三、对我国的启示

#### （一）完善光伏发电安全标准体系

一是借鉴目前地方或行业出台的相关光伏安全标准，逐步出台强制性的标准法规，形成健全完善的光伏发电安全标准法规体系，助推光伏发电安全有序发展。二是细化光伏发电安全法规标准内容，如紧急事故避险方面，细化组件及快速关断、降低组串电压等要求，提升救援效率；隐患检测定位方面，细化电弧、漏电流检测定位等要求，降低火灾等事故风险；组件智能监测方面，细化监测组件状态要求，提升监测预警能力。三是完善光伏发电安全标准体系范畴，在勘察、设计、施工、安装、调试、运行管理和维护、设备制造等领域完善安全标准，保障光伏发电产业全链条安全。

#### （二）加强科技创新引领

加大多元化的安全技术研发，促进光伏发电安全应用。例如，可以设立专项基金，重点支持先进电池技术与数字技术、智能技术的深

度融合，推动跟踪系统、AI 智能运维、延长硅基光伏组件使用寿命等解决方案的应用，持续优化产品生产工艺，以技术创新推进产业安全管理升级。同时，加强钙钛矿、碲化镉薄膜等前沿领域高功率、高性能组件产品的研发，整体提升组件安全性能。

### （三）强化服务保障体系

一是培育光伏领域专业检验检

测服务商，为光伏产品提供一站式检验、检测、认证服务，打造从材料到零部件、再到组件的全方位服务体系。二是培育具有熟悉光伏发电场景安全应用、基础技术能力强的专业技术团队，提升光伏发电安全管理水平。

（作者：黄玉焄）

## 企业研究

### 天合光能：专注光伏智慧能源创新

在全球化石能源供应链失衡、能源转型和气候变化的压力日益增大的背景下，加快开发利用可再生的清洁能源已成为世界各国能源战略的主要方向。与化石能源和其他类型的清洁能源相比，太阳能具有分布广泛、地域限制小、资源量巨大、技术相对成熟等优势。在 market 需求的拉动下，全球光伏行业规模持续扩大，国内一大批企业和品牌也应势崛起，在国际光伏行业中占据一席之地。根据中国光伏行业协会数据显示，2021年，我国光伏制造端产值突破7500亿元，光伏组件产量连续15年居全球首位，占全球总量比例超过70%。全球光伏规模不断增长，项目集中投产，带来对产品、项目建设和运营安全管理需求增长，也对光伏企业提出更多要求。天合光能股份有限公司（以下简称“天合光能”）作为全球光伏领域的头部企业，以科技创新为驱

动力，不断提升产品的可靠性，拓展产业链，在多个领域取得领先优势。本文通过对天合光能发展现状、创新能力和产品可靠性提升等方面进行研究，希望能为促进我国光伏行业发展提供借鉴。

#### 一、天合光能发展现状

##### （一）发展概况

天合光能成立于1997年12月，总部位于江苏省常州市。2006年，天合光能登陆纽交所，成为最早在美国上市的太阳能企业之一，2020年在上海证券交易所上市。天合光能的业务包括研发、生产和销售光伏组件，电站及系统产品，开发、销售智能微网及多能系统，光伏发电及运维服务，以及能源云平台运营等。天合光能在全球积极布局产业下游生态链，以产品为中心，为客户提供开发、融资、设计、施工、运维等一站式系统集成解决方案。2021年，天合光能的总资产

为 635.4 亿元，同比增长 39.36%；  
营业收入为 444.8 亿元，同比增  
长 51.20%；全年光伏组件出货量为

24.8GW，同比增长 55.8%；全球项  
目累计并网超过 5.5GW；员工总数  
为 17586 人。

表 1 天合光能近三年主要财务状况

	总资产 (亿元)	营业收入 (亿元)	归属于上市公司股东的 净利润 (亿元)	研发投入占营业收入 的比例 (%)
2019	362.8	233.2	6.4	5.7
2020	455.9	294.2	12.3	5.5
2021	635.4	444.8	18.0	5.7

数据来源：天合光能股份有限公司年度报告，2022，09

天合光能以江苏常州作为全球总部，早年便开始了全球化布局。目前，天合光能在迈阿密、费利蒙（硅谷）、迪拜、苏黎世、东京、新加坡等地设有区域总部，在常州、宿迁、盐城、义乌、越南、泰国设有制造基地，在韩国、西班牙、巴西、墨西哥、智利、阿联酋、南非、德国、土耳其、英国、印度等国家或地区设有全球销售和运营机构，2022 年又在上海设立了国际总部，业务已遍布全球 100 多个国家和地区。

## （二）主要业务

天合光能的主要业务包括光伏产品、光伏系统、智慧能源三大板块。

光伏组件是天合光能的主要产品之一，产品功率涵盖了 410W+、

430W+、510W+、555W、580W、600W、670W 和 690W 超高功率，应用场景包括户用屋顶、工商业屋顶到大型地面电站等，产品出口全球 150 多个国家和地区。天合光能连续八年获评国际认证机构 PVEL 全球“最佳表现”组件制造商，连续 6 年被彭博新能源财经（BNEF）评为可融资性 100% 评级的组件品牌，连续 3 年获评 RETC 组件制造“全面最佳表现”奖。

天合光能的光伏系统业务以系统产品、光伏电站等为主。通过优化集成高效组件、智能跟踪支架等光伏产品，天合光能为客户提供开发、融资、设计、施工、运维、一站式系统集成解决方案，涵盖智能

控制系统、智慧云平台及本土化服务，其中的智能控制系统可为电站提供从建设到运维的全生命周期服务。在电站业务方面，利用多能互补一体化、源网荷储一体化等技术，实现“光伏+氢能”“光伏+储能”“光伏+光热”“光伏+农、牧、渔业”“光伏+治沙”“光伏+废弃矿治理”“零碳/低碳园区”“海上光伏”等应用场景。截至2021年12月，天合光能国内电站系统业务获得3.5GW+光伏电站指标，较2020年增长200%，海外电站系统业务在多个国家实现突破。此外，天合光能还拥有“天合富家”“天合蓝天”两个分布式能源品牌，提供中小型分布式光伏发电市场的业务。

智慧能源业务是在天合光能产品和系统业务的基础上进行的拓展和延伸，主要包括光伏发电及运维、储能智能解决方案、智能微网及多能系统的开发和销售等。天合光能旗下天合储能以提高新能源发电的电能质量为目标，提供包括需求分析、方案设计、系统集成、安装调试和验收交付等全生命周期的储能系统产品与服务。2018年，天合光

能发布天合能源物联网“TrinaloT”品牌，产品以其自主研发的PaaS平台和SaaS应用进行模块化的组合，为不同领域客户提供综合能源管理系统及能源+物联网解决方案，帮助企业实现数字化运营与管理效率提升。

## 二、发展特点

### （一）以科技创新作为企业核心战略

天合光能是国家技术创新示范企业，2017年获得国家级“单项冠军示范企业”。天合光能注重在安全生产方面的投入，在全球太阳能制造商产品安全评比中，综合排名位列前三。通过打造创新平台、吸引创新人才、促进合作研发，天合光能不断提高产品性能，实现全球性突破。

在创新平台建设方面，天合光能依托“一室两中心”加大业务研发投入，吸引创新人才汇聚。其中“一室”是指天合光能自筹建成的光伏科学与技术重点实验室，该实验室于2013年通过国家科技部验收，是国内首批获得科技部认定的光伏企业国家重点实验室之一，

2010 至 2021 年研发投入累计达 120 亿元，已 23 次创造或刷新了在太阳能电池转换效率及组件输出功率的世界纪录，成为首家进入世界最权威光伏电池发展地图的中国机构。“两中心”分别是国家企业技术中心和新能源物联网产业创新中心，其中的新能源物联网产业创新中心是为推进新能源物联网领域的研究搭建的，同时还联合国内外优势企业及科研院所成立了天合能源物联网产业发展联盟。后又建设了“天合光能—数字能源研究院”，与“一室两中心”形成联动，构建“高校—科研—产业—金融”融通的先进能源技术产业创新和创业一体化平台。此外，天合光能还与新加坡太阳能研究所、澳大利亚国立大学、瓦伦西亚理工大学等国外院校和研发机构建立合作，推动产品技术创

新和应用。

以创新平台为依托，天合光能先后承担和参与国家 863 计划、国家 973 计划、国家重点研发项目以及省科技成果转化等各类项目 60 余项。2018 年，天合光能获得中国工业大奖，成为首个获此殊荣的光伏企业。2021 年，天合光能“高效低成本晶硅太阳能电池表界面制造关键技术及应用”项目荣获国家技术发明奖，这是中国光伏技术领域首次获得国家技术发明奖。2022 年，天合光能入选路透社评选的《全球能源转型 TOP100 创新者》名单，成为国内唯一一家入选该名单的企业。天合光能在国家发改委印发《国家企业技术中心 2021 年评价结果的通知》中获评优秀，进入全国 20 强，跃居江苏省首位，亦位列本次参评光伏发电企业首位。

表 2 近几年天合光能在科技创新方面获得的奖项

获得时间	获得奖项	颁发部门
2021 年 1 月	2020 年度江苏省科学技术奖(二等奖)	江苏省政府
2021 年 3 月	“2020 江苏省百强创新型企业”第五名	江苏省科技发展战略研究院
2021 年 7 月	首届江苏省科技创新发展奖(优秀企业)	江苏省政府
2021 年 11 月	国家技术发明奖(二等奖)	国务院

获得时间	获得奖项	颁发部门
2021年12月	第28届江苏省企业管理现代化创新成果一等奖	江苏省企业管理现代化创新成果审定委员会

数据来源：天合光能股份有限公司年度报告，2022，09

## （二）通过检测检验提升产品可靠性

天合光能依托“一室两中心”，以严于 IEC/UL 的内部检测标准，对产品进行 200 余项内部测试。天合光能还设立了光伏产品检测中心，具备完善的晶体硅组件可靠性、晶硅电池材料理化性能检测能力，并与 TUV 莱茵、中国质量认证中心、北京鉴衡认证中心、UL 等国内外知名的认证及检测机构达成长期战略合作，获得了中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可实验室、鉴衡认证中心（CGC）WMT 目击实验室、TUV 莱茵光伏行业首家 TMP 目击实验室、TUV 莱茵 CTF 实验室、CSA WMT 目击实验室、TUV 北德 CTF 实验室、TUV 南德 CTF 实验室、全球首家 UL61730-2 目击实验室等资质。

为提升产品在极端气候条件下的可靠性，天合光能联合第三方机构通过内外多次检测提升产品和光伏系统的可靠性和安全性。2021 年，

天合光能组织完成“一标五严”六项测试，即一项标准静态载荷测试以及不均匀雪载、冰雹冲击、极限低温载荷、多倍动态机械载荷、风洞极限风速试验等五项加严测试，验证了极端条件下超高功率组件的机械性能。2022 年，天合光能开展了光伏组件极端气候户外实证项目，在浙江嘉兴验证了光伏组件在台风等极端天气中应用于沿海地区光伏电站的户外安全性，并在 9 月接受了强台风“梅花”的实战考验。

## （三）将质量控制贯穿产品价值链

除了通过检测检验严格把控产品质量外，天合光能将提升产品可靠性贯穿在整个价值链中。在产品 and 系统设计阶段优先采用本质安全的工艺，是从源头控制危害，降低安全事故发生概率的重要手段。在设计和开发阶段加强对光伏组件和系统的工艺安全设计有助于延长光伏系统的使用寿命，对后续工程实

施和运维管理安全起着至关重要的作用。天合光能拥有专业的设计团队和严密的采购流程，在产品生产工艺，以及每一种生产原料都经过严格测试，以保证产品质量和可靠性。

在上游业务中，天合光能对从硅片到组件的每一个生产步骤都实行严格的质量管控，同时，在高速多主栅焊接、光伏电池排列、层压、接线盒安装、检验和包装等在内的绝大部分组件制造流程借助数字化、智能化设备和手段，减少人为失误，也为其光伏产品保持持续的可靠性奠定了基础。

在天合光能的下游业务中，天合光能建立的施工与管理团队，按照国家规范和行业标准，如 GB50797《光伏电站设计规范》等承接光伏电站 EPC 总承包业务。天合光能的客户质量工程（CQE）部门负责保证所有客户参观、审计及产品检查顺利进行，同时还负责处理客户的反馈及要求，提升客户满意度。此外，天合光能还建立了云数据库，收集涵盖从客户订单生成到原材料、产品性能、出货、售后质

量反馈的全流程数据，并对数据进行分析，实现风险预警在内的质量控制体系。

#### （四）重视知识产权保护

依托“一室两中心”的创新平台，天合光能建立了以海内外优秀科研人员为骨干的技术创新队伍。至今，天合光能“光伏科学与技术国家重点实验室”在光伏电池转换效率和组件输出功率方面先后 23 次创造和刷新世界纪录。在推动产品功效和质量提升的同时，天合光能十分注重通过国内外专利申请和参与标准制定保护知识产权，提升在行业内的全球竞争力。目前，天合光能已累计申请专利 2300 余件，2021 年新增申请专利 362 件，有效发明专利拥有量居行业前列。

天合光能还积极主导或参与制定国内国际标准，成为全球太阳能行业的创新引领者和标准制定者。天合光能代表中国首提 IEC 国际标准并正式发布。2021 年度，天合光能主导或参与制定的 7 项标准获得发布并作为统一的技术规范推行，包括主导制定的 1 项 SEMI 国际标准《Specification for Silicon

Adhesive for the Back Rail Fixture on Photovoltaic(PV) Modules》(标准编号: SEMI PV98-0321)、参与制定的2项 SEMI 国际标准《太阳能电池用 硅片规范》(标准编号: SEMI PV22-0321)和《光伏建筑一体化 (BIPV) 分类标准》(标准编号: SEMI PV99-0321)、参与制定的1项国家标准《光伏组件回收再利用通用技术要求》(标准编号: GB/T 39753-2021)、参与制定的3项团体标准《光伏组件用玻璃 第1部分: 前板减反射膜玻璃》(标准标号: T/CPIA 0028.1—2021)、《光伏组件用玻璃 第2部分: 双玻组件背板增反射镀层玻璃》(标准标号: T/ CPIA 0028.2—2021)以及《光伏组件背板用薄膜 第2部分: 聚酯薄膜》(标准标号: T/ CPIA 0029.2—2021)。通过参与标准制定,天合光能不断提升行业话语权,也逐步在国内和国际光伏市场竞争中建立了优势。

### 三、几点启示

(一) 提升企业科技创新能力  
追踪国际新能源和太阳能光

伏产业发展动向和趋势,统筹我国光伏产业布局,优化有利于建立产业科技竞争优势的政策支撑体系。大力培育光伏产业高新技术企业集群,建立行业高新技术企业库,支持行业骨干企业建设科技创新平台,推动创新要素向企业聚集,提升企业研发平台的数量和质量。鼓励企业和科研机构建立科研合作机制,组建创新联合体。发挥我国太阳能光伏产业规模和技术优势,强化企业作为产业科技创新主体的作用,重点研究新型电池制备、太阳能光电转化等关键技术。支持企业申报科技创新奖项,落实企业科技税收优惠政策,为企业营造良好创新环境和氛围。

### (二) 加快产业配套服务体系建设

提升服务业对光伏产业的支撑作用。支持龙头企业向上游设计、研发和下游终端产品检测、工程设计施工、数据分析服务等环节延伸,促进企业拓展产业链,提升整体方案解决能力,推动“制造+服务”发展模式。支持产业链上下游联动发展,鼓励企业围绕链主企业需求,

提升协作配套水平，特别是在科技研发、科技金融、检测检验认证、知识产权公共服务等方面的服务能力，提升服务质量。社会组织和第三方机构是提升服务有效性和客观性的重要平台，充分发挥行业协会、产业联盟等社会组织和第三方检测机构在产业信息收集、产业趋势分析，以及科技创新支撑方面的作用，建立面向制造企业的专业的、长期的服务模式。

### （三）将提高产品可靠性和安全性作为发展驱动力

产品的可靠性和安全性是一项系统工程，涉及产品设计研发、原材料选用、生产制造、工程安装、使用、维护保养等全生命周期。提高光伏产品可靠性和安全性指标，不仅可以防止故障和事故发生，减少停机损失，对企业来讲，更有助于提高市场竞争力。同时，提升产品的可靠性和安全性需要挖掘产品全生命周期的薄弱环节，对产品生命周期个阶段的数据进行收集和分析，形成以质量和安全为导向的科

技创新和资源配置，从而推动产业链上中下游产生内在的协同发展驱动力，促进产业链重构升级。

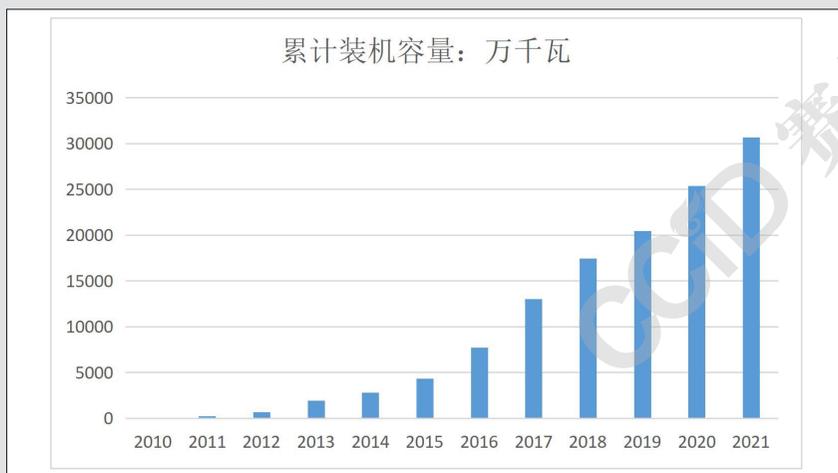
### （四）积极拓展海外市场

支持龙头企业抓住全球能源变革机遇，深度嵌入全球光伏产业链和创新链，与国际组织、权威检测机构、国外科研机构在产业、科技领域开展广泛合作，推动产品与国际标准接轨，开拓多元化市场，提高国际市场占有率。支持企业知识产权海外布局，鼓励企业积极参与国际标准制定，鼓励企业依托知识产权形成研发、成果转化、融资的突破口，拓展海外市场，进入国际产业链高端，在优势领域指导企业提高知识产权保护意识，建立海外知识产权侵权应对机制，加大海外知识产权保护力度。鼓励企业利用举办、参与国际光伏产业论坛，参与国际和地区奖项评比等平台开展国际交流，提高品牌知名度。

（作者：黄鑫）

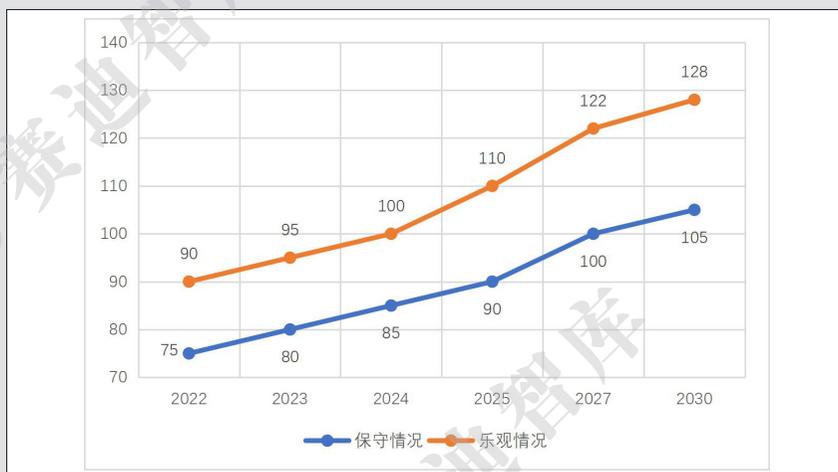
## 数据之窗

### 2010—2021 年我国光伏发电累计装机容量情况



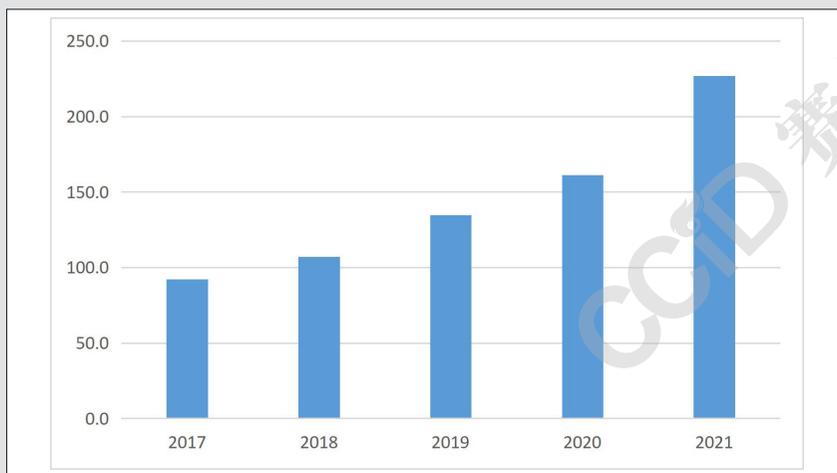
数据来源：国家能源局

### 2022—2030 年我国光伏新增装机预测（单位：GW）



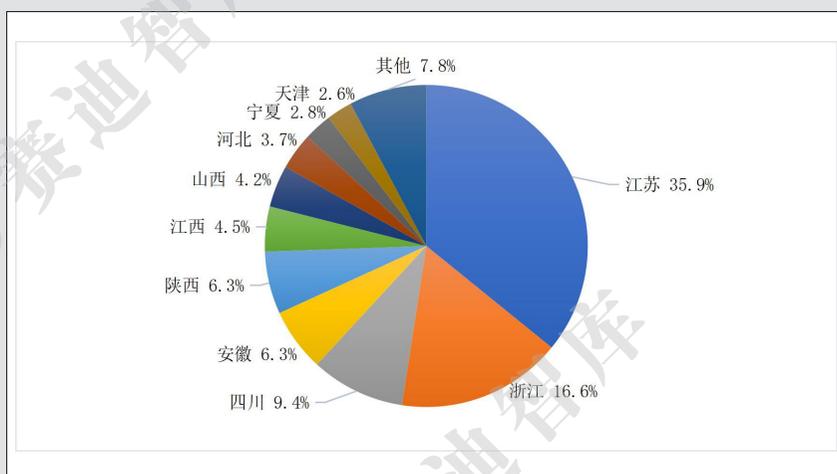
数据来源：中国光伏行业协会

## 2017-2021 年中国光伏硅片产量（单位：GW）



数据来源：中国光伏行业协会

## 2021 年中国光伏电池制造产能区域分布



数据来源：中国光伏行业协会

赛迪智库是中国工业和信息化领域的知名思想库，直属于国家工业和信息化部中国电子信息产业发展研究院。自成立二十余年以来，秉承“面向政府，服务决策”的宗旨，赛迪智库专业从事软科学研究工作，积极开展基础研究、预先研究和对策研究，致力为政府提供决策咨询和支撑服务。研究领域既注重发展规划、产业政策、产业科技、产业经济，又突出信息化、电子信息产业和软件服务业，同时涵盖装备工业、消费品工业、原材料工业和工业节能。目前，赛迪智库总部设在北京，并在上海、重庆、广州和深圳等地设有分支机构，拥有400余名专业研究人员，业务网络覆盖全国200多个大中型城市。

详情请浏览网站：[www.ccidthinktank.com](http://www.ccidthinktank.com)

## 北京

地 址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层  
邮 编：100846  
联系人：王 乐  
电 话：010-68200552 13701083941  
传 真：0086-10-68209616  
邮 箱：[wangle@ccidgroup.com](mailto:wangle@ccidgroup.com)

## 上海

地 址：上海市松江区莘砖公路668号临港松江科技城  
G60科创大厦B座104室  
邮 编：201612  
联系人：陶传亮  
电 话：021-64689608  
邮 箱：[taoicl@ccidconsulting.com](mailto:taoicl@ccidconsulting.com)

## 广州

地 址：广州市越秀区先烈中路102号华盛大厦2902  
邮 编：510500  
联系人：贾纺纺  
电 话：18664691279  
邮 箱：[jjaff@ccidconsulting.com](mailto:jjaff@ccidconsulting.com)

## 深圳

地 址：广东省深圳市南山区高新中一道9号软件大厦  
611、812室  
邮 编：518057  
联系人：贾纺纺  
电 话：18664691279  
邮 箱：[jjaff@ccidconsulting.com](mailto:jjaff@ccidconsulting.com)

## 重庆

地 址：重庆市南岸区玉马路8号  
邮 编：400060  
联系人：白巧丽  
电 话：023-62451483 15998914128  
邮 箱：[baicl@cqccid.com](mailto:baicl@cqccid.com)

## 赛迪工业和信息化研究院

《安全产业研究》编辑部

编辑部：赛迪工业和信息化研究院

通讯地址：北京市海淀区万寿路27号院8号楼12层

邮政编码：100846

联系人：王乐

联系电话：010-68200552 13701083941

传 真：0086-10-68209616

网 址：[www.cciwise.com](http://www.cciwise.com)

电子邮件：[wangle@ccidgroup.com](mailto:wangle@ccidgroup.com)

