

2022 年 06 月 09 日

电力设备

微型逆变器：行业老面孔，喜迎新机遇

■**微型逆变器是一种安全、高效、灵活的组件级电力电子转换方案。**微型逆变器是一种可对每一块光伏组件进行单独最大功率点跟踪，再进行逆变并入交流电网的组件级电力电子转换方案。相较于集中式与组串式逆变器，微型逆变器具备安全、高效、灵活的三重优势：1) 集中式或组串式逆变器每串组件接入的直流电压可达 600-1500V，而微型逆变器涉及的直流电压一般不超过 80V，从根本上降低了直流拉弧、人员触电的风险；2) 微型逆变器可以实现更精细化的 MPPT 跟踪，保证每块组件都在各自的最大功率点上输出，从而有效提升系统整体发电效率；3) 微型逆变器单体功率较小，整体部署更为灵活，可有效提升安装、扩建、运维效率。

■**老树新芽，微型逆变器焕发新活力。**作为光伏行业的“老面孔”，长期以来微型逆变器始终是一种应用范围较为有限的“小众”方案，自 2008 年首次推出之后，微型逆变器市场花了将近十年的时间才实现年出货量突破 1GW。我们认为在多种因素的共同助推下，微型逆变器行业正迎来全新的发展机遇。一方面，近年来全球分布式光伏装机占比持续提升，与此同时海内外屋顶光伏安全标准趋严，组件级控制方案逐渐成为“标配”。另一方面，随着光伏步入平价时代，度电成本开始成为行业核心的考量因素，而随着组件功率的快速提升以及微型逆变器产品的持续迭代，部分户用场景中微型逆变器与传统组串式逆变器的经济性差距已经较小。此前微型逆变器主要应用于北美，我们预计欧洲、拉美等其他地区也已进入加速渗透期，微型逆变器有望由此前的“小众”市场逐渐发展壮大，**2025 年全球出货量或将超过 25GW，年均增速超过 50%，对应市场规模可达 200 亿元以上量级。**

■**海外龙头起步领先，国内厂商加速追赶。**微型逆变器与集中式/组串式逆变器存在明显技术路线差异，参与者相对有限，市场格局较为集中，Enphase 占据 80%左右的全球份额，龙头地位突出。经过多年的努力，目前国内厂商已在技术实力以及产品迭代速度上逐渐实现赶超，正通过高性价比的差异化竞争策略快速开拓海外市场。近年来相关企业陆续登陆国内资本市场，规模实力得到大幅扩充，未来有望实现行业爆发与公司发展的共振。

■**投资建议：**历经十余年风雨历程，微型逆变器市场正迎来全新的发展机遇，渗透率有望快速提升，与此同时国内厂商已在全球市场初露峥嵘。建议重点关注国内微型逆变器先行者**昱能科技**，以及近年来快速崛起的优质微型逆变器厂商**禾迈股份**与**德业股份**。

■**风险提示：**微型逆变器推广不及预期、技术迭代风险、国际贸易摩擦等

行业深度分析

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**

维持评级

首选股票

目标价 评级

行业表现



资料来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	13.42	-0.66	37.57
绝对收益	22.25	-0.82	18.15

王哲宇

分析师

SAC 执业证书编号：S1450521120005
wangzy9@essence.com.cn

胡洋

分析师

SAC 执业证书编号：S1450521120003
huyang@essence.com.cn

相关报告

内容目录

1. 微型逆变器：安全高效的组件级电力电子转换方案	4
1.1. 微型逆变器是一种组件级的光伏系统 DC/AC 转换方案	4
1.2. 微型逆变器具有安全、高效、灵活的优势	5
1.2.1. 微型逆变器具有更高的安全性	5
1.2.2. 微型逆变器可以实现更高的发电效率	6
1.2.3. 微型逆变器的安装与运维更为灵活	7
2. 老树新芽，微型逆变器焕发新活力	8
2.1. 微型逆变器是一种由来已久的“小众”方案	8
2.2. 微型逆变器正迎来全新的发展机遇	9
2.2.1. 全球分布式光伏装机空间打开	10
2.2.2. 分布式光伏安全标准趋严	11
2.2.3. 微型逆变器经济性持续提升	13
2.3. 全球微型逆变器市场加速拐点已至	16
3. 海外龙头起步领先，国内厂商加速追赶	18
3.1. 当前全球微型逆变器市场格局较为集中	18
3.2. 国内厂商追赶脚步加快	20
4. 重点上市公司	23
4.1. 昱能科技：行业老兵，厚积薄发	23
4.2. 禾迈股份：微逆新星，快速崛起	25
4.3. 德业股份：光储并济，微逆可期	26
5. 风险提示	28

图表目录

图 1：光伏逆变器基本原理图	4
图 2：三类逆变器技术方案对比	4
图 3：集中式、组串式及微型逆变器功率及适用场景对比	5
图 4：微型逆变器不涉及直流高压，具有更高的安全系数	5
图 5：不同光照条件下的光伏组件 I-V、P-V 曲线	6
图 6：微型逆变器可以避免系统失配导致的发电效率下滑	7
图 7：全球微型逆变器出货量及占比情况（GW）	8
图 8：全球微型逆变器出货量地区分布（GW）	9
图 9：全球微型逆变器市场规模及增速情况（亿美元）	9
图 10：Enphase 微型逆变器出货量情况	10
图 11：国内厂商微型逆变器收入快速增长（亿元）	10
图 12：全球光伏装机结构（GW）	10
图 13：国内光伏装机结构（GW）	10
图 14：欧盟消费者能源价格指数快速上涨（2015=100）	11
图 15：全球户用光伏装机快速增长	11
图 16：复杂分布式场景中微型逆变器的优势更为明显	11
图 17：美国国家电工规范对于光伏系统快速关断的标准	12
图 18：全球光伏平均度电成本变化趋势（\$/kWh）	13
图 19：美国户用光伏初始投资成本构成（\$/W）	14
图 20：P 型单晶 PERC 组件单体功率快速提升（W）	14

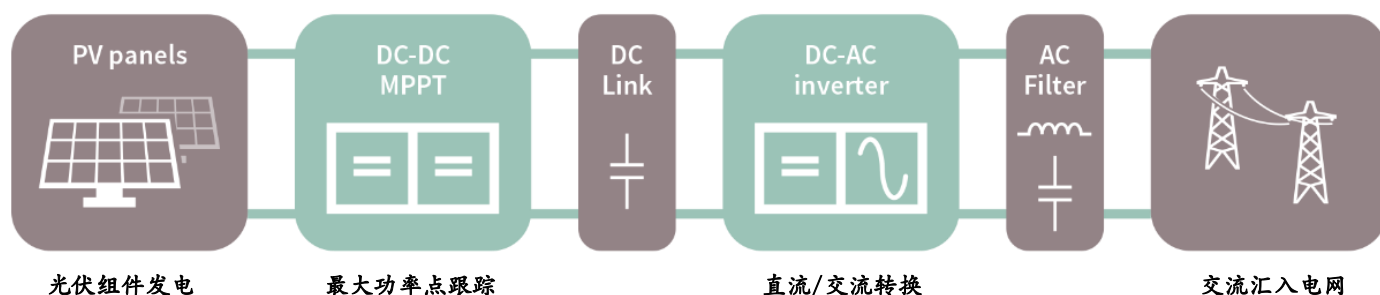
图 21: 单晶电池转换效率快速提升.....	14
图 22: Enphase 微型逆变器单瓦价格及成本情况 (\$/W)	15
图 23: 全球微型逆变器价格变化情况 (\$/W)	15
图 24: 美国及美国以外地区户用光伏市场微型逆变器渗透率对比.....	16
图 25: 不同厂商 2021 年并网逆变器业务毛利率对比.....	17
图 26: 昱能科技原材料采购结构.....	18
图 27: 锦浪科技原材料采购结构.....	18
图 28: 2020 年全球光伏逆变器出货量份额情况.....	19
图 29: 2020 年全球微型逆变器市场份额情况.....	19
图 30: 美国户用逆变器市场份额情况.....	19
图 31: Enphase 收入地区分布情况 (亿美元)	19
图 32: 2021 年禾迈微型逆变器境外销售地区分布.....	20
图 33: 2020 年昱能微型逆变器境外销售地区分布.....	20
图 34: 国内外微型逆变器厂商产品迭代情况.....	20
图 35: Enphase 微型逆变器销售台数计平均功率情况.....	21
图 36: 禾迈股份微型逆变器销售结构 (亿元)	21
图 37: Enphase 在制造组装环节主要采取代工模式.....	22
图 38: 全球户用光伏装机区域趋向多元化 (单位: GW)	22
图 39: 国内逆变器出口额及地区构成 (亿元)	22
图 40: 昱能科技产品体系发展历程.....	23
图 41: 昱能科技收入构成情况 (亿元)	24
图 42: 昱能科技归母净利润变化情况 (亿元)	25
图 43: 昱能科技毛利率、净利率情况.....	25
图 44: 禾迈微型逆变器产品系列.....	25
图 45: 禾迈股份营收构成情况 (亿元)	26
图 46: 公司各项业务毛利率情况.....	26
图 47: 德业股份业务布局.....	27
图 48: 德业股份营收构成 (亿元)	27
图 49: 德业股份归母净利润变化情况 (亿元)	27
图 50: 德业股份各项业务毛利率情况.....	27
图 51: 德业股份 2020-2021 年逆变器业务收入构成 (亿元)	28
表 1: 不同逆变器方案安全性对比.....	6
表 2: 微型逆变器/户用组串式逆变器重量及质保期对比.....	7
表 3: 不同厂商推出 MLPE 方案的时间.....	8
表 4: 全球光伏系统直流安全相关规定.....	12
表 5: 不同状态下人体可触及稳态安全电压限制 (V)	13
表 6: 5kW 户用光伏系统传统组串式逆变器与微型逆变器方案经济性对比.....	15
表 7: 微型与传统组串式方案经济性差距敏感性测算.....	16
表 8: 全球微型逆变器市场空间测算.....	17
表 9: 全球主要微型逆变器厂商.....	18
表 10: 海内外微型逆变器厂商产品体系对比.....	21
表 11: 昱能科技创始团队及其他核心技术人员情况.....	24
表 12: 公司 IPO 募投项目及实际募集资金情况 (亿元)	26

1. 微型逆变器：安全高效的组件级电力电子转换方案

1.1. 微型逆变器是一种组件级的光伏系统 DC/AC 转换方案

逆变器是光伏系统中的重要环节，主要起到直交流转换以及最大功率点跟踪的作用。光伏组件在阳光照射下发出的是波动的直流电，而电网及大部分负载通常在频率恒定的交流电下运行，因此逆变器是光伏系统中不可或缺的关键设备。一方面，逆变器需要将光伏组件产生的直流电（DC）转换为交流电（AC）；另一方面，逆变器还需跟踪光伏组件阵列的最大输出功率（MPPT），从而使电能以低损耗、高质量的方式并入电网。

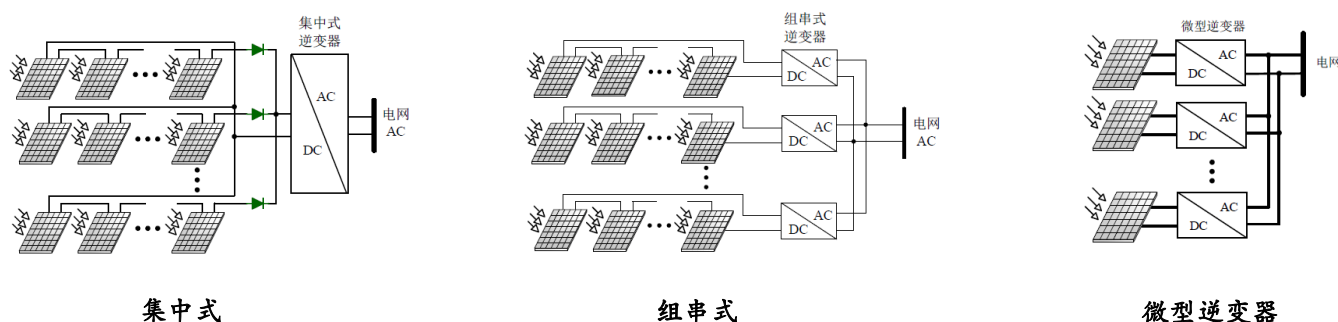
图 1：光伏逆变器基本原理图



资料来源：英飞凌，安信证券研究中心

光伏逆变器的技术路线主要可分为集中式、组串式以及微型逆变器三大类。其中，集中式逆变器是将大量并行的光伏组串在直流端汇集后进行集中逆变并入电网；组串式逆变器是对单串或数串光伏组件进行单独最大功率点跟踪及逆变后在交流侧汇流并入电网；微型逆变器则进一步下沉至组件级，可对每一块光伏组件进行单独最大功率点跟踪及逆变。

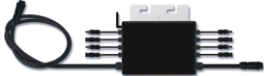
图 2：三类逆变器技术方案对比



资料来源：禾迈股份招股说明书，安信证券研究中心

不同逆变器的适用范围存在一定差异，微逆变器作为一种组件级电力电子（MLPE）设备主要应用于小功率户用领域。从功率上看，目前集中式逆变器的单机功率基本达到 3MW 以上，集成度高，整体成本较低，但在控制精度与发电量损失上相对较差，主要用于大型地面电站。组串式逆变器的单机功率则一般覆盖 3-300kW+ 的区间，适用范围较为灵活，广泛应用于户用、工商业以及大型电站等场景。微逆变器目前的单体容量则一般在几百瓦至 2-3kW，通常与光伏组件配套安装，主要应用于小功率户用场景。

图 3：集中式、组串式及微型逆变器功率及适用场景对比

			
	集中式	组串式	微逆变器
功率级别	>3MW	3-400kW	0.3-2kW
发电损失	较大	较小	最小
单瓦价格	0.1-0.2元/W	0.1-0.5元/W	>1元/W
应用场景	集中电站	集中电站/工商业/户用	户用

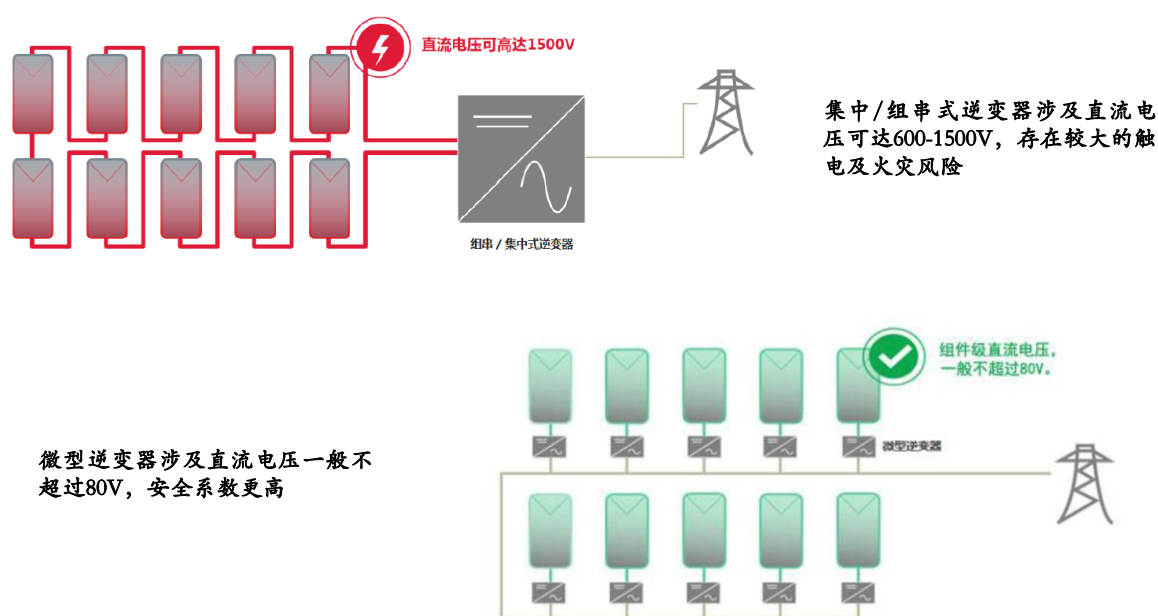
资料来源：安信证券研究中心

1.2. 微型逆变器具有安全、高效、灵活的优势

1.2.1. 微型逆变器具有更高的安全性

相较于集中式或组串式逆变器，微型逆变器的优势首先在于安全性。从原理上看，集中式或组串式逆变器首先将多块组件串联后再进行逆变，每串组件接入的直流电压可达 600-1500V，安装运维人员在直流高压环境下存在一定的触电风险。此外，在光伏组串存在直流高压的情况下，一旦出现接头松脱、接触不良、电线受损等现象，就极易引发直流电弧，从而造成巨大的火灾隐患。相较而言，微型逆变器将每一块组件产生的直流电先转换为交流电后再进行并联，因此整个系统中涉及的直流电压一般不超过 80V，大大降低了触电以及直流拉弧的风险，具有更高的安全系数。

图 4：微型逆变器不涉及直流高压，具有更高的安全系数



资料来源：昱能科技招股说明书，安信证券研究中心

组串式逆变器可通过配套优化器/关断器实现组件级关断,但微型逆变器仍是安全性更好的方案。除了微型逆变器,“组串式逆变器+优化器/关断器”也是当前业界比较普遍的组件级电力电子控制方案,通过在每块组件上加装关断器可实现故障情况下的快速切断,对系统整体的安全性有一定提升。但从本质上看,关断器并未改变组串式逆变器运行过程中的直流高压环境,与微型逆变器相比,系统整体仍然存在一定的直流拉弧隐患。

表 1: 不同逆变器方案安全性对比

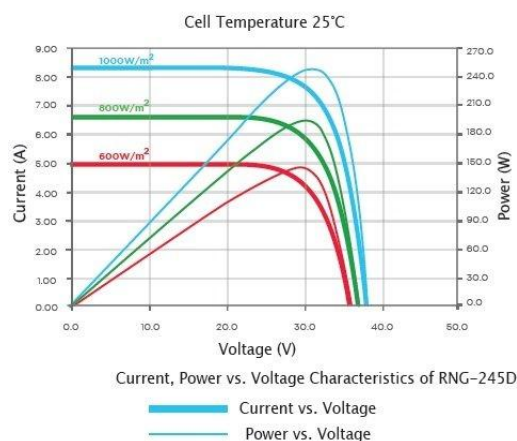
	组串式逆变器	组串式逆变器+关断器	微型逆变器
是否解决运维触电风险	否	是	是
是否解决火灾风险	否	否	是
是否解决施救风险	否	是	是
系统运行时直流电压等级	高压	高压	低压
系统关断时直流电压等级	高压	低压	低压
组件级别关断	不具备	具备	具备
系统成本	中	略高	较高

资料来源: 昱能科技招股说明书, 安信证券研究中心

1.2.2. 微型逆变器可以实现更高的发电效率

最大功率点跟踪是光伏逆变器的核心功能之一。在一定的温度以及光照条件下,光伏组件的输出电压和电流遵循特定的 I-V 曲线,因此存在一个特定的电压电流组合使得组件的输出功率最大。与此同时,光伏组件的 I-V 曲线会随着光照、温度的变化而发生改变,因此在不同的外部条件下,光伏组件最大功率点所对应的电压、电流通常存在差异。因此,除了 DC/AC 的转换,光伏逆变器的另一个核心作用就是通过不断调节电路参数使光伏组件始终在其最大功率点上进行输出,即最大功率点跟踪 (MPPT)。

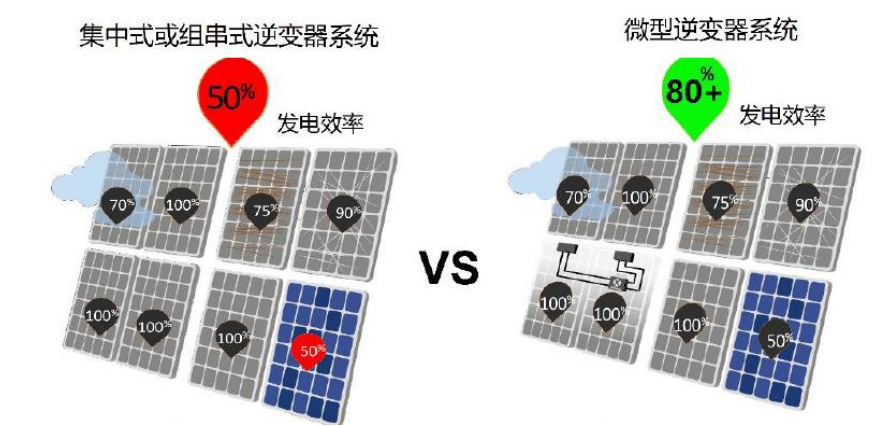
图 5: 不同光照条件下的光伏组件 I-V、P-V 曲线



资料来源: Savana Solar, 安信证券研究中心

相较于集中式与组串式逆变器,微型逆变器可以实现更精细化的 MPPT 跟踪,从而提升系统的整体发电效率。对于集中式或组串式逆变器,由于每串组件都在同一电流下进行输出,如果某块组件因为故障、遮挡、阴影等原因出现失效或输出功率下滑,则整串组件的发电效率都将受到影响。而对于采用微型逆变器的光伏系统,每块组件均对应独立的一路 MPPT,可保证每块组件都在各自的最大功率点上进行输出,因此系统的整体发电效率不会受到“短板”的影响而出现明显下滑。

图 6：微型逆变器可以避免系统失配导致的发电效率下滑



资料来源：昱能科技招股说明书，安信证券研究中心

1.2.3. 微型逆变器的安装与运维更为灵活

对于户用光伏系统而言,微型逆变器在安装上更为便利。一般微型逆变器的单体重量仅为 1-3 千克左右(单体/双体机型),而户用组串式逆变器的单体重量一般超过 10 千克,因此无论是在运输、存放还是安装环节,微型逆变器均有更佳的便利性。与此同时,对于采用集中式或组串式逆变器方案的光伏系统,在完成初始设计后改造或扩建的难度较大,而微型逆变器与组件一一对应,在后续改造时可直接在交流侧并联至原有系统,整体的部署更为灵活。

表 2：微型逆变器/户用组串式逆变器重量及质保期对比

厂商	产品型号	最大输出功率/kW	重量/kg	质保期/年
微型逆变器				
Enphase	IQ8-60-2-US	0.25	1.1	25
昱能	DS3	0.88	2.6	10
	QT2	2.0	6.0	10
禾迈	HM-800	0.8	2.6	12
	HM-1200	1.2	3.8	12
德业	SUN1000G3-EU-230	1.0	3.5	10
	SUN2000G3-EU-230	2.0	5.2	10
组串式逆变器				
SolarEdge	SE2200H	2.2	7.8	12
SMA	Sunny Boy 1.5	1.5	9.2	5
华为	SUN2000-2KTL-L1	2.0	12	10
阳光电源	SG10RT-20	10	17	10
锦浪科技	G6-GR1P	3.6	7.4	5
固德威	GW1500-XS	1.5	5.8	5

资料来源：公司网站，安信证券研究中心

从光伏系统运维的角度来看,微型逆变器亦能够实现更好的监测与管理,降低全生命周期的维护成本。一方面,微型逆变器可以实时跟踪到每块组件的输出情况,出现故障时更容易进行精准定位,单台微型逆变器的故障也不影响其他组件的正常工作。另一方面,当前微型逆变器主要采用灌胶等一系列方式对于核心电路进行保护,设计寿命一般达到 20 年以上,质保期达到 10 年以上,而组串式逆变器的寿命一般仅为 10-20 年,标准质保期仅为 5 年左右。对于人工成本较高的海外地区,微型逆变器在后续维护成本上的优势将较为明显。

2. 老树新芽，微型逆变器焕发新活力

2.1. 微型逆变器是一种由来已久的“小众”方案

微型逆变器是光伏行业的“老面孔”，距今已有超过十年的商业化应用经历。如前所述，组件级电力电子转换方案在安全性、发电效率以及灵活度上均有较强优势，因此在光伏行业发展早期就得到了较多的关注与应用。2006 年，SolarEdge 率先开创单体组件优化器方案，2008 年 Enphase 推出的微型逆变器方案开始得到实际应用，随后昱能、禾迈等国内厂商也相继起步。

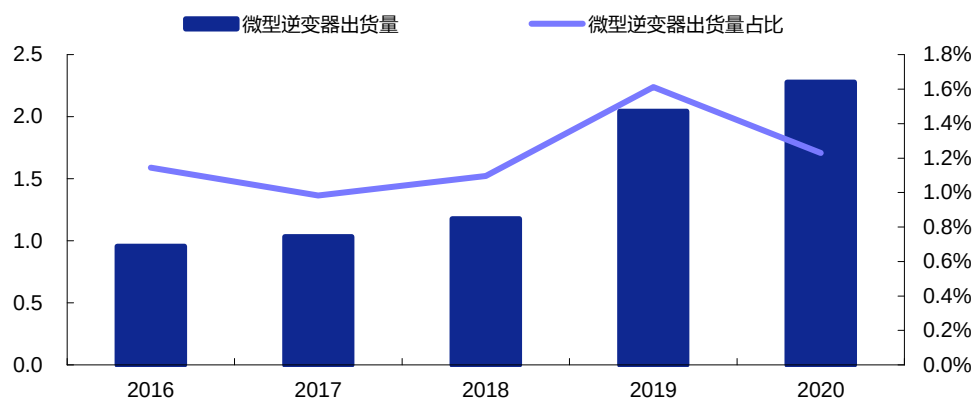
表 3：不同厂商推出 MLPE 方案的时间

时间	厂商	产品/方案
2006 年	SolarEdge	开创单体组件优化器
2007 年	Tigo	推出组件级优化器
2008 年	Enphase	开创微逆技术，推出单体单相微逆
2011 年	昱能	推出单体单相微逆
2014 年	禾迈	推出单相单体微逆
2017 年	阳光电源	推出组件级功率优化器
2017 年	华为	推出智能光伏优化器

资料来源：索比光伏网，公司公告，安信证券研究中心

在过往的发展历程中，微型逆变器始终是一种应用范围有限的“小众”方案。虽然微型逆变器在光伏行业的发展已有较长时间，但受制于成本、适用场景等方面的限制，长期以来其应用范围相对有限，往往只作为特定市场、特定领域的一种细分选择。根据第三方咨询机构 Wood Mackenzie 的统计，2016-2020 年全球微型逆变器的出货量由不到 1GW 增长至 2.3GW，在全球光伏逆变器出货量中的占比约为 1%-2%，即便只考虑户用领域，微型逆变器的装机占比也仅为 10% 左右。

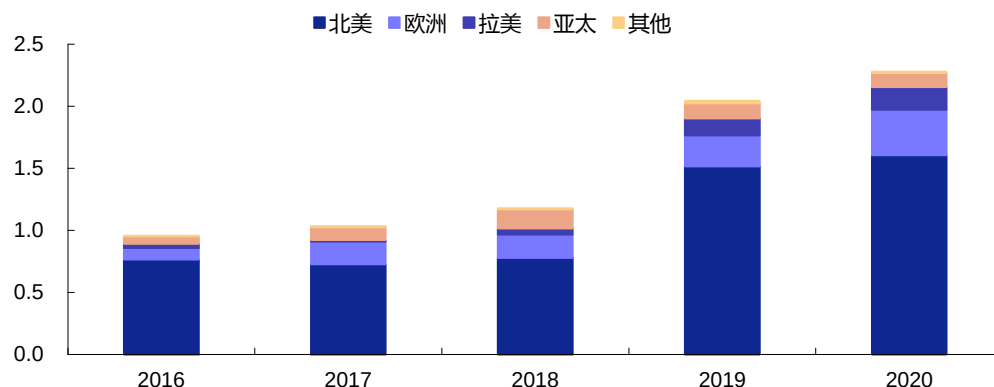
图 7：全球微型逆变器出货量及占比情况（GW）



资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

当前微型逆变器的市场主要集中在美国，其他地区的应用相对较少。从地区分布来看，近年来北美市场在微型逆变器出货量中的占比保持在 70% 左右，欧洲地区的占比约为 15%-20%，拉美、亚太等其他地区的占比则相对较小。因此，目前微型逆变器尚未成为全球范围内的普遍方案，而是具有较强的地区属性。

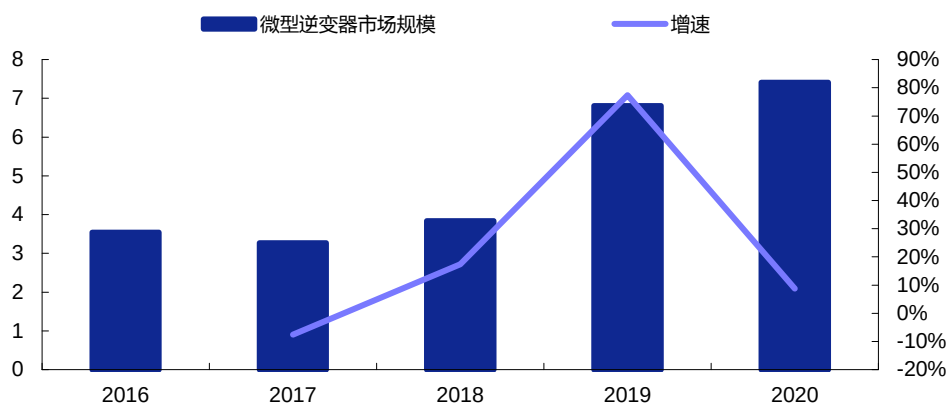
图 8：全球微型逆变器出货量地区分布（GW）



资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

虽然出货量规模相对较小，但微型逆变器整体的市场空间仍较为可观。一般而言，当前微型逆变器的单瓦价格通常超过 1 元/W，为集中式及组串式逆变器的数倍，因此从市场规模的角度出发，微型逆变器在逆变器整体市场中仍然占据了相当的比例。根据 Wood Mackenzie 的统计，2020 年全球微型逆变器市场规模达到 7.4 亿美元，在 100 亿美元左右量级的逆变器总市场规模中占比达到 7%-8%。

图 9：全球微型逆变器市场规模及增速情况（亿美元）

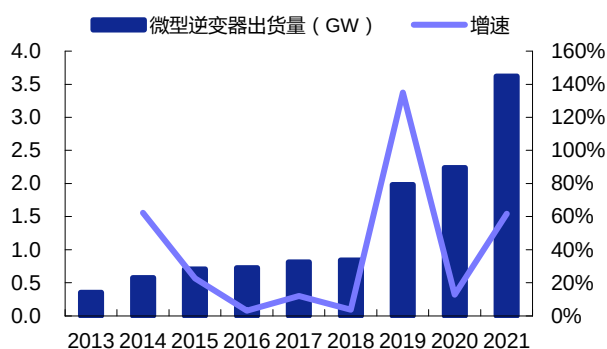


资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

2.2. 微型逆变器正迎来全新的发展机遇

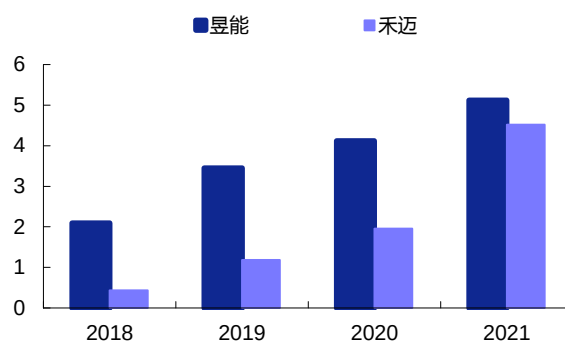
近年来全球微型逆变器市场发展明显提速。自 2008 年首次推出之后，微型逆变器市场花了将近十年的时间才实现年出货量突破 1GW(2017 年)，而期间全球新增光伏装机规模由 2008 年的不到 7GW 增长至 2017 年的接近 100GW。近年来，微型逆变器行业发展的速度明显加快，2017 年至 2021 年全球微型逆变器龙头 Enphase 的出货量由 0.81GW 快速增长至 3.62GW，年均增速达到 45%，昱能、禾迈等国内厂商的微型逆变器业务收入亦实现成倍提升。我们认为微型逆变器市场已进入全新的发展阶段，在各方面因素的推动下未来有望延续高速增长态势。

图 10: Enphase 微型逆变器出货量情况



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

图 11: 国内厂商微型逆变器收入快速增长（亿元）

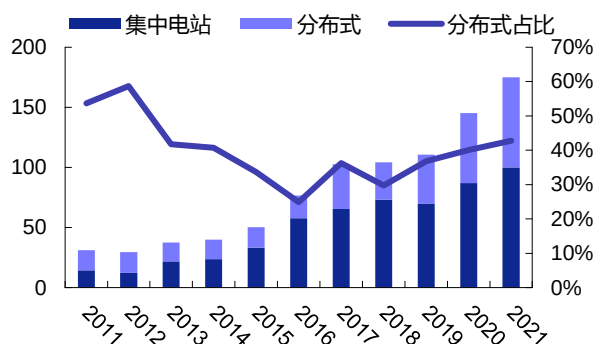


资料来源：公司公告，安信证券研究中心

2.2.1. 全球分布式光伏装机空间打开

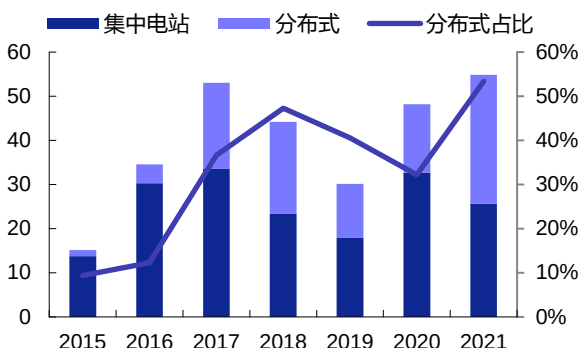
平价时代下全球分布式光伏装机重回高速增长。全球光伏装机起步于德国、意大利等欧洲国家，在发展早期主要以分布式场景为主，2012 年前全球光伏新增光伏装机中分布式的占比超过 50%。2012 年后欧洲国家光伏补贴快速退坡，全球分布式光伏发展陷入短暂停滞，在全球新增光伏装机中的占比持续下滑。随着光伏行业步入平价时代，近年来全球分布式光伏重回高速增长，根据 IEA 的初步统计 2021 年全球分布式光伏装机约为 75GW，占比超过 40%。而根据国家能源局公布的数据，2021 年国内分布式光伏装机达到 29GW，装机占比首次超过大型地面电站。

图 12: 全球光伏装机结构（GW）



资料来源：IEA，安信证券研究中心

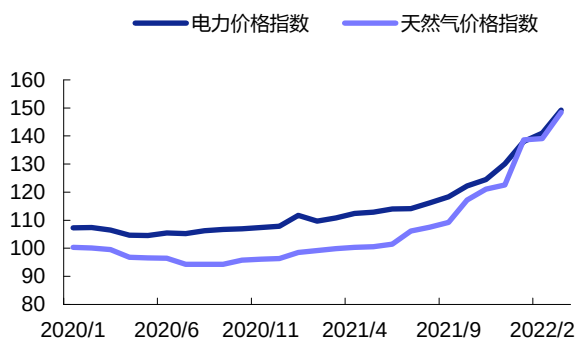
图 13: 国内光伏装机结构（GW）



资料来源：国家能源局，安信证券研究中心

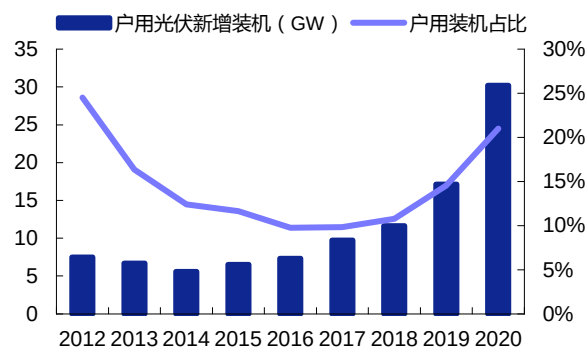
碳中和目标确立叠加能源价格快速上涨，全球户用光伏加速渗透。2020 年以来全球主要经济体相继确立长期碳中和目标，各地相继加大了对户用光伏的政策支持力度，例如欧盟 2022 年 5 月下发的太阳能发展规划要求到 2029 年欧盟地区所有新建的居民住宅都必须安装屋顶光伏系统，各成员国需为此建立强有力的支持框架。与此同时，2021 年下半年以来受地缘政治、气候环境、供给冲击等多方面因素影响，全球石油、天然气等能源价格持续上涨，推动海外部分地区电力价格大幅飙升，户用光伏的经济性与接受度快速提升。根据 BNEF 统计，2020 年全球新增户用光伏装机规模达到 30GW，在全球装机中的占比已超过 20%，我们预计 2021 年这一比例进一步增加。如前所述，户用领域是微型逆变器的主要应用场景，随着户用光伏的加速渗透，微型逆变器未来的应用空间也将进一步打开。

图 14：欧盟消费者能源价格指数快速上涨（2015=100）



资料来源：Eurostat，安信证券研究中心

图 15：全球户用光伏装机快速增长



资料来源：BNEF，安信证券研究中心

随着分布式光伏装机场景逐步拓宽，组件所处环境的复杂性也随之提升，微型逆变器高效、灵活的优势得以进一步凸显。一般而言，各地光伏资源的开发都遵循由易到难的顺序，首先开发的往往是光照条件好、空间开阔、无遮挡的优质屋顶，然后慢慢向各类环境条件复杂的场景延伸。特别是对于户用领域，考虑到屋顶的空间通常较为有限，组件的朝向也未必一致，所以不同组件的位置与光照环境可能存在较大差异，在此情况下微型逆变器组件级 MPPT 跟踪的优势将尤为凸显，未来有望得到更为广泛的应用。

图 16：复杂分布式场景中微型逆变器的优势更为明显



简单场景
组件工作环境基本相同，组串式逆变器与微型逆变器的发电效率差别不大



复杂场景
组件朝向、环境各异，微型逆变器高效灵活的优势凸显

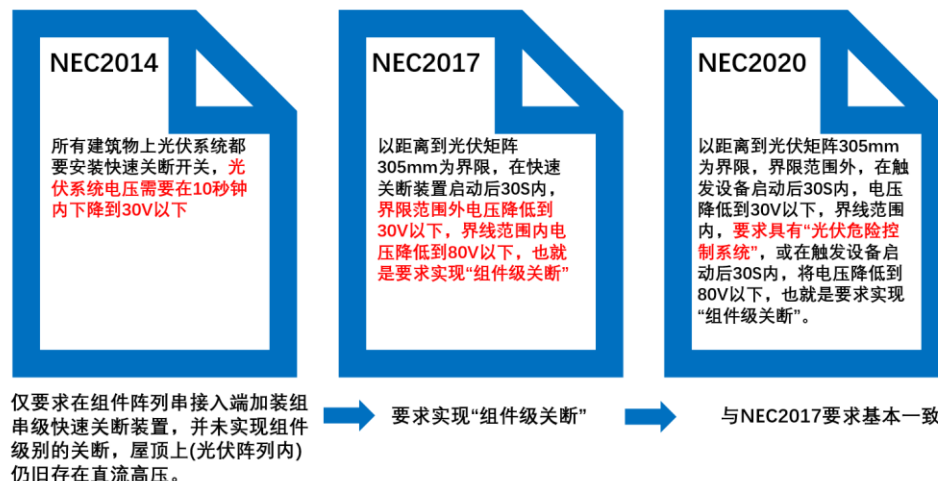
资料来源：InfinityEnergy，安信证券研究中心

2.2.2. 分布式光伏安全标准趋严

2017 版《美国国家电气规范》(NEC 2017) 中对于建筑物光伏系统的强制性安全标准是微型逆变器规模化应用的重要推手。《美国国家电气规范》是美国电气安全领域最为重要的标准之一，由美国国家消防协会 (NFPA) 每三年进行一次修订，2014 年 NEC 首次将《组件级自我关断解决方案》(NEC 2014 690.12) 纳入标准体系，要求所有建筑物上光伏系统都要安装快速关断开关，光伏系统电压需在 10 秒钟内下降到 30V 以下。但 2014 版的标准中仅要求在组件阵列接入端加装组串级快速关断装置，并未实现组件级别的关断，屋顶光伏阵列内仍旧存在直流高压。2017 年 NEC 对光伏系统的关断作出重要修订，明确以距离光伏矩阵 305mm 为界限，在快速关断装置启动后 30 秒内，界限范围外电压需降低到 30V 以下，界线范围内电压需降低到 80V 以下，即要求实现“组件级关断”。因此，随着 NEC 2017 陆

续在美国各州得到推广，微型逆变器开始在美国市场得到规模化的应用。2020 版的 NEC 亦基本沿用了 2017 版对于光伏系统快速关断的要求，截至 2022 年，美国已有 17 个州采用了 NEC 2020，24 个州采用了 NEC 2017。

图 17：美国国家电工规范对于光伏系统快速关断的标准



资料来源：NEC，安信证券研究中心

全球分布式光伏安全标准趋严，组件级控制方案或成未来“标配”。除了美国，目前越来越多国家与地区开始加强对屋顶分布式光伏的安全标准，加拿大、德国、澳大利亚等海外发达地区均已出台针对光伏系统直流高压问题的相关规范，国际电工委员会现行的技术标准 IEC TR 63226 亦明确指出在光伏系统起火时需限制电压至组件级别。国家能源局 2021 年底发布的《关于加强分布式光伏发电安全工作的通知（征求意见稿）》同样对分布式光伏安全性进行了强调，提出分布式光伏发电项目设计方案应“安装电弧故障断路器或采用具有相应功能的组件，实现电弧智能检测和快速切断功能”，同时“光伏组件应具有安全关断保护功能，保证逆变器关机，交流断电后，系统子阵外直流电压低于安全电压”。我们认为未来全球范围内针对分布式光伏的安全标准将持续提升，组件级的关断方案的应用有望明显加速。

表 4：全球光伏系统直流安全相关规定

国家或组织	法规名称	主要内容
加拿大	Canadian Electrical Code 2021	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，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	VDE-AR-E 2100-712	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。
意大利	CEI 82-25	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。
澳大利亚	AS/NZS 5033:2021	当直流电压大于 120Vd.c 时，组件和逆变器之间需要安装断开装置。
墨西哥	NOM 001 SEDE	光伏系统直流工作电压大于 80V 时需要安装电弧保护设备。
中国	《关于加强分布式光伏发电安全工作的通知（征求意见稿）》	安装电弧故障断路器或采用具有相应功能的组件，实现电弧智能检测和快速切断功能；光伏组件应具有安全关断保护功能，保证逆变器关机，交流断电后，系统子阵外直流电压低于安全电压。
国际电工委员会	IEC TR 63226	在光伏系统起火时，支持消防员灭火的可选方式有：(1) 在系统关闭后限制电压到组件级电压；(2) 正常运行或系统关闭时采用微型逆变器。

资料来源：昱能科技，安信证券研究中心

光伏建筑一体化方兴未艾，安全标准将更为严苛。当前将光伏组件与建筑结构深度融合的 BIPV 已得到行业的广泛关注，根据中国光伏行业协会光电建筑专委会的统计，2020 年我国

主要光电建筑产品生产企业 BIPV 总装机容量约为 709 MW，在国内分布式装机规模中的占比不到 5%。2022 年 3 月住建部印发的《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》中提出到 2025 年全国新增建筑太阳能光伏装机容量达到 50GW 以上，BIPV 市场有望快速起步。在 BIPV 的应用场景中，光伏系统将直接与人员进行近距离接触，因此对于安全性的要求将更为严苛，整体来看 BIPV 将沿用建筑领域较高的安全标准，例如国标 GB T 3805-2008 中明确指出正常状态下人体可接触的交流/直流安全电压不得超过 33V/70V。因此，我们认为未来 BIPV 也将成为微型逆变器的一个重要应用场景。

表 5：不同状态下人体可触及稳态安全电压限制（V）

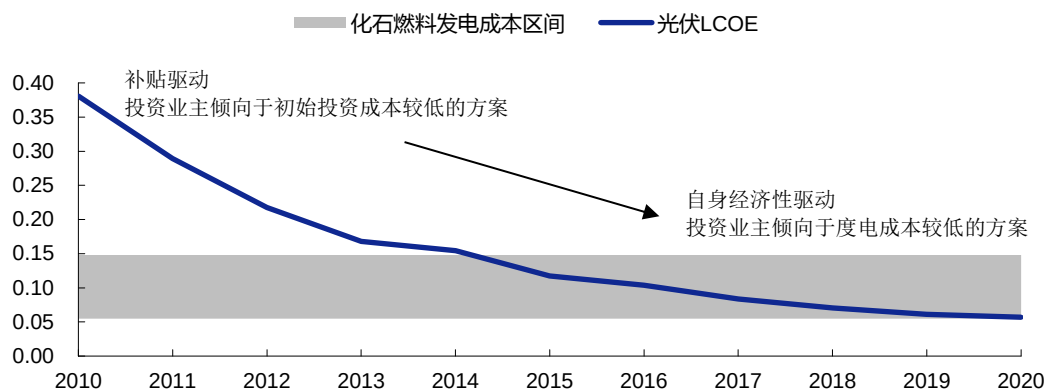
环境状况	正常		单故障		双故障	
	交流	直流	交流	直流	交流	直流
皮肤阻抗和对地电阻均可忽略不计	0	0	0	0	16	35
皮肤阻抗和对地电阻降低	16	35	33	70	不适用	
皮肤阻抗和对地电阻均不降低	33	70	55	140	不适用	
特殊状况	特殊应用					

资料来源：国家标准，安信证券研究中心

2.2.3. 微型逆变器经济性持续提升

光伏步入平价时代，度电成本开始成为行业核心的考量因素。在发展初期，由于光伏自身的发电成本明显高于传统化石能源，下游需求很大程度上由补贴推动，行业存在较大的降本压力，下游业主通常更倾向于初始投资成本更低的方案。而随着光伏迈过平价节点，行业已由外部政策驱动转变为自身经济性驱动，项目度电收益开始逐步取代初始投资成本成为业主最主要的考量因素。在此背景下，我们认为微型逆变器精细控制、高效发电的优势将得到凸显，即便初始投资成本较高，其在某些场景下仍可对全生命周期内的度电成本产生正面贡献。

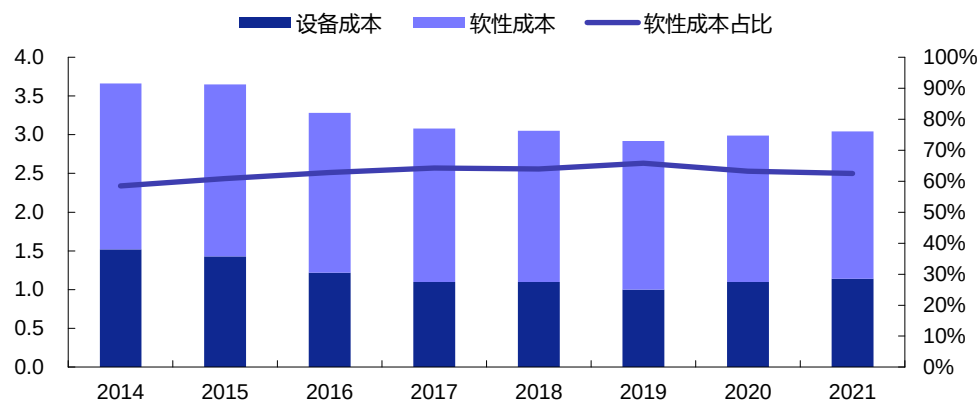
图 18：全球光伏平均度电成本变化趋势（\$/kWh）



资料来源：IRENA，安信证券研究中心

海外户用光伏市场人工成本较高，终端客户对产品价格的敏感性相对较低。不同于大型电力开发商，居民家庭通常不会对户用光伏的收益率进行精确测算，只要安装的收益能够大致覆盖初始投资成本既可。与此同时，在海外发达地区人工安装成本往往较高，根据美国太阳能产业协会（SEIA）的测算，美国户用光伏系统的初始投资中设备成本（Hardware Costs）仅占 1/3，其余均为人工等软性成本（Soft Costs）。因此，户用市场中产品价格并非影响终端用户选择的唯一因素，为节省后续潜在的人工成本，家庭用户将倾向于安全性高、质量好、后续维护简单的产品，而这正是微型逆变器的优势所在。

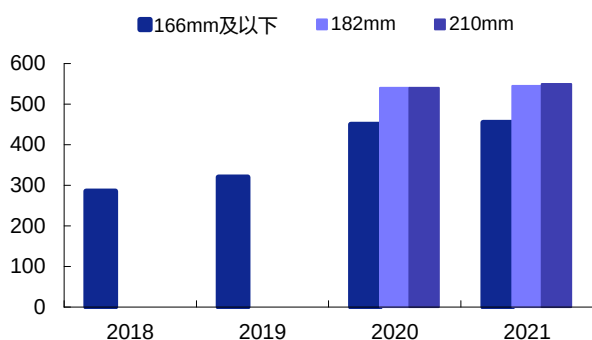
图 19：美国户用光伏初始投资成本构成（\$/W）



资料来源：SEIA，安信证券研究中心

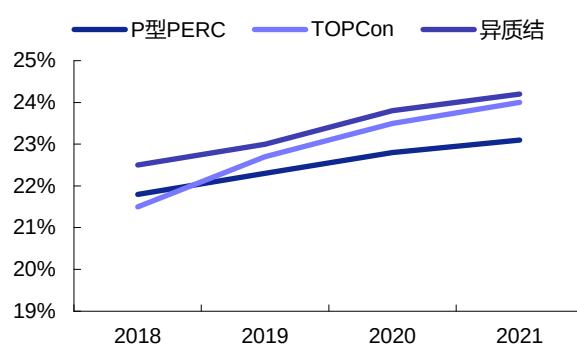
组件功率快速提升，微型逆变器单瓦成本有效摊薄。随着大尺寸硅片的加速渗透以及电池转换效率的持续提升，近年来光伏组件功率呈快速上升趋势，根据中国光伏行业协会发布的《中国光伏产业发展路线图》，2021 年 166/182/210mm 尺寸 PERC 单晶电池组件的功率已达到 455/545/550W，182mm N 型单晶组件的功率则可达到 570W，较 2018 年 300W 左右的主流组件功率大幅提升。在户用领域，多晶时代组件的功率一般仅为 200-300W，而近年来头部组件厂商推出的户用产品功率等级已达到 400W+。在同样装机功率的情况下，组件功率的提升意味着组件数量的降低，而微型逆变器与组件为一一对应的关系，因此所需的微型逆变器数量也将同步减少，折算到单瓦的成本将有效摊薄。而对于传统的组串式方案，在同样的装机功率下用到的逆变器数量与功率等级基本不变，因此组件功率的增加将提升微型逆变器相对于传统组串式逆变器的经济性。

图 20：P 型单晶 PERC 组件单体功率快速提升（W）



资料来源：CPIA，安信证券研究中心

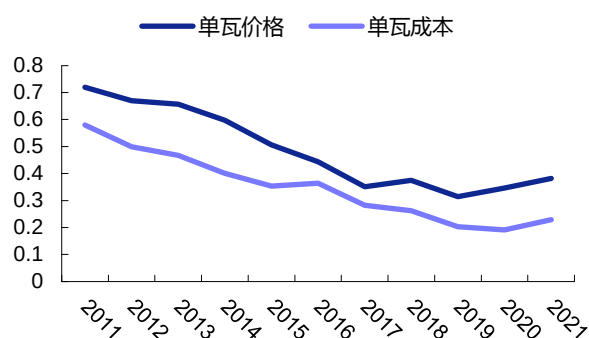
图 21：单晶电池转换效率快速提升



资料来源：CPIA，安信证券研究中心

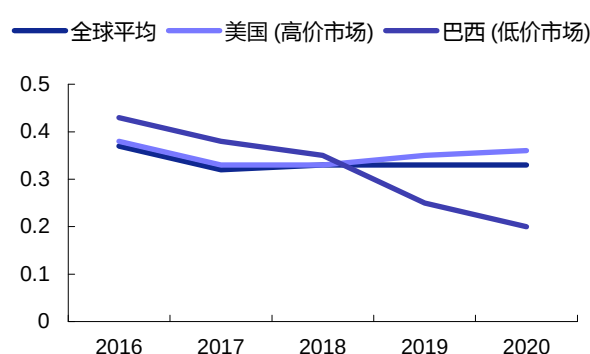
微型逆变器持续迭代升级，近年来降本幅度明显。在组件功率提升的同时，自问世以来微型逆变器自身的设计与方案也处于快速优化升级的过程中，以行业先行者 Enphase 为例，2008 年至今共推出了 8 代微型逆变器产品，每一代新产品都在之前的基础上实现了降本增效，单瓦成本由 2011 年接近 0.6 美元的水平下降至近年来的 0.2 美元左右。与此同时，近年来国内厂商推出的一拖四、一拖八等多体方案亦使得微型逆变器的性价比大幅提升。根据 Wood Mackenzie 的统计，近年来全球微型逆变器的单瓦价格整体呈下降趋势，其中美国市场由于关税、本土保护等原因价格相对较高，而在以巴西为代表的新兴市场中微型逆变器的价格已有大幅下降。

图 22: Enphase 微型逆变器单瓦价格及成本情况 (\$/W)



资料来源: 公司公告, 安信证券研究中心

图 23: 全球微型逆变器价格变化情况 (\$/W)



资料来源: Wood Mackenzie, 安信证券研究中心

部分场景下, 微型逆变器与传统组串式逆变器的经济性差距已经较小。在此, 我们对海外户用光伏市场中微型逆变器的经济性进行了大致测算。以 5kW 的户用系统为例, 假设采用传统组串式逆变器的系统初始投资成本为 2.5 美元/W, 年发电量为 1300 小时 (年衰减 1%), 电价为 0.20 美元/kWh 且每年上涨 2%, 则在 20 年的生命周期内户用光伏的 IRR 约为 6.2%。若假设微型逆变器的单瓦价格较传统组串式逆变器高 0.2 美元, 同时年发电量提升 5%, 则在其他条件不变的情况下, 改用微型逆变器后户用光伏的 IRR 约为 6.0%, 下降幅度仅为 0.2%。考虑到户用市场中终端居民家庭对经济性的敏感度相对较低, 且微型逆变器在安全性等其他方面具有显著优势, 我们认为这样的经济性差距是完全可以接受的。

表 6: 5kW 户用光伏系统传统组串式逆变器与微型逆变器方案经济性对比

	单位	0	1	2	3	4	...	20
传统组串式方案								
初始投资	\$	(12,500)						
年发电量	kWh	-	6,565	6,500	6,435	6,370	...	5,330
平均电价	\$/kWh	-	0.200	0.204	0.208	0.212	...	0.291
年收益	\$	-	1,313	1,326	1,339	1,352	...	1,553
年维护费用	%	-	(300)	(300)	(300)	(300)	...	(300)
净现金流	\$	(12,500)	1,013	1,026	1,039	1,052	...	1,253
IRR	%	6.2%						
微型逆变器方案								
初始投资	\$	(13,500)						
年发电量	kWh	-	6,893	6,825	6,757	6,689	...	5,597
平均电价	\$/kWh	-	0.200	0.204	0.208	0.212	...	0.291
年收益	\$	-	1,379	1,392	1,406	1,420	...	1,631
年维护费用	%	-	(300)	(300)	(300)	(300)	...	(300)
净现金流	\$	(13,500)	1,079	1,092	1,106	1,120	...	1,331
IRR	%	6.0%						
IRR 差异	%	-0.2%						

资料来源: SEIA, EIA, 安信证券研究中心

随着组件功率的提升以及微型逆变器自身技术的持续升级, 我们预计未来微型逆变器与组串式逆变器的单瓦成本差异将进一步缩窄。根据我们的敏感性测算, 在提升 5%发电量的假设条件下, 当微型逆变器与组串式逆变器的价差降至 0.15 美元/W 时, 两者的经济性就可基本持平, 在某些场景下微型逆变器方案的经济性或已超越传统的组串式方案。

表 7：微型与传统组串式方案经济性差距敏感性测算

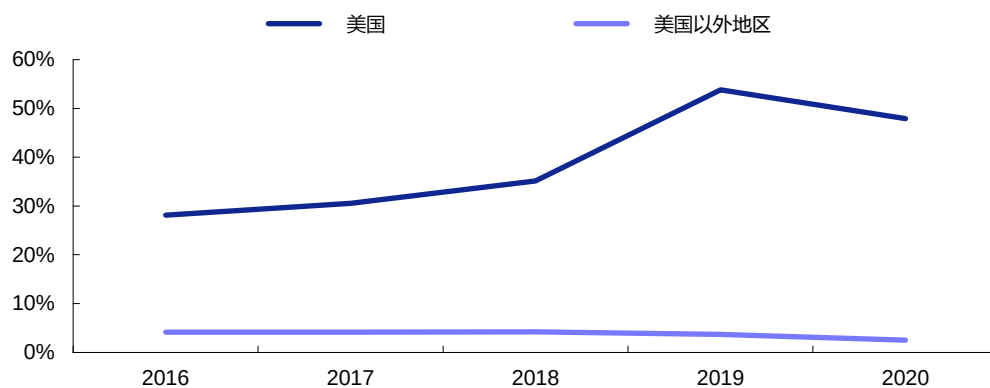
IRR 差距	微逆与组串式价差					
	微逆发电量增益幅度	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
2.5%		-1.0%	-0.8%	-0.5%	-0.3%	-0.1%
5.0%		-0.6%	-0.4%	-0.2%	0.0%	0.3%
7.5%		-0.3%	-0.1%	0.2%	0.4%	0.6%
10.0%		0.1%	0.3%	0.5%	0.7%	1.0%

资料来源：SEIA，EIA，安信证券研究中心

2.3. 全球微型逆变器市场加速拐点已至

美国市场引领，其他地区接力，全球微型逆变器加速渗透。如前所述，NEC 2017 是助推微型逆变器市场步入规模化发展阶段的重要因素，在其发布后的短短两三年内美国微型逆变器在户用光伏中的渗透率由 30% 以下快速提升至 50% 左右。而在美国以外的地区，目前微型逆变器的渗透率仍然处于起步初期。随着全球范围内户用光伏安全要求的提升以及微型逆变器成本的不断下降，我们预计其他户用光伏市场的微型逆变器渗透率也有望加速提升，未来有望接力美国市场快速放量。

图 24：美国及美国以外地区户用光伏市场微型逆变器渗透率对比



资料来源：Wood Mackenzie，BNEF，安信证券研究中心

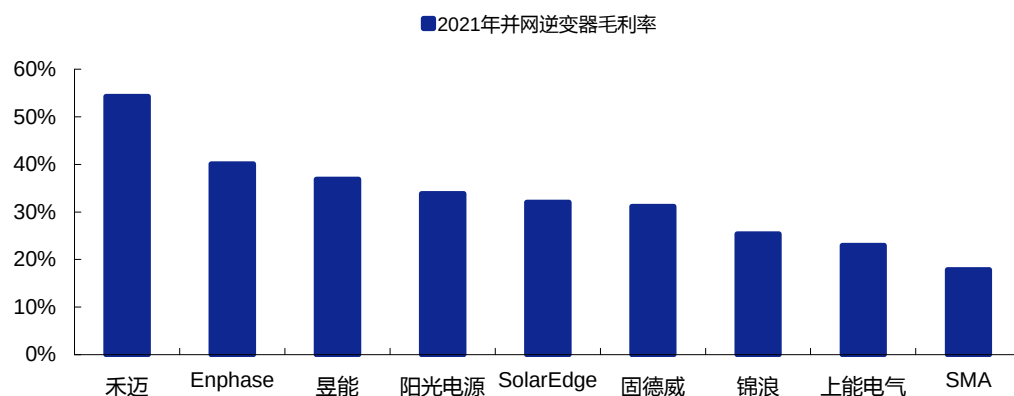
2025 年全球微型逆变器出货量有望超过 25GW，对应市场空间或达 200 亿元以上。综上，在全球分布式光伏装机占比提升以及组件级控制方案加速渗透的背景下，我们看好微型逆变器由当前 5GW 左右的“小众”市场逐渐发展壮大。若假设 2025 年微型逆变器在美国户用光伏中的渗透率为 60%，其他海外地区为 30%，国内逐步进入推广期，则 2025 年全球微型逆变器出货量或将超过 25GW，年均增速超过 50%，其中美国以外地区的贡献将持续提升。考虑到微型逆变器的单瓦价值量显著高于组串及集中式逆变器，其市场空间将更为可观，若以 2025 年 0.8 元/W 的全球均价进行测算，则对应的市场规模将达到 200 亿元以上的量级。

表 8：全球微型逆变器市场空间测算

	单位	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
全球光伏装机	GW	144	183	230	288	344	406
户用光伏占比	%	21%	28%	29%	29%	29%	29%
全球户用光伏装机	GW	30.2	51.1	65.9	82.8	98.8	116.6
中国	GW	12.1	21.6	26.9	31.9	36.4	37.9
美国	GW	3.3	4.2	6.0	7.2	8.6	10.4
其他地区	GW	14.7	25.3	33.1	43.7	53.7	68.4
微型逆变器渗透率	%	8%	8%	10%	13%	16%	21%
中国	%	0%	0%	0%	0%	1%	3%
美国	%	48%	60%	60%	60%	60%	60%
其他地区	%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
全球微型逆变器出货量	GW	2.3	5.0	8.6	13.1	19.0	27.9
中国	GW	-	-	-	-	0.4	1.1
美国	GW	1.6	2.5	3.6	4.3	5.2	6.2
其他地区	GW	0.7	2.5	5.0	8.7	13.4	20.5
微型逆变器平均单价	元/W	2.0	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8
微型逆变器市场规模	亿元	46	91	128	157	190	223

资料来源：Wood Mackenzie, BNEF, SEIA, 安信证券研究中心

微型逆变器主要应用于海外高端户用市场，盈利能力优于一般组串式及集中式逆变器。当前微型逆变器的主要应用场景为海外户用市场，且主要面向对安全性、发电效率要求较高的终端居民用户，相较于一般的组串式逆变器存在一定的单瓦溢价。考虑到高端户用市场的价格敏感度较低，我们预计微型逆变器市场在快速扩大的同时仍可保持较强的盈利能力，近年来 Enphase、昱能、禾迈等国内外微型逆变器厂商的毛利率普遍优于其他集中式或组串式逆变器厂商。

图 25：不同厂商 2021 年并网逆变器业务毛利率对比


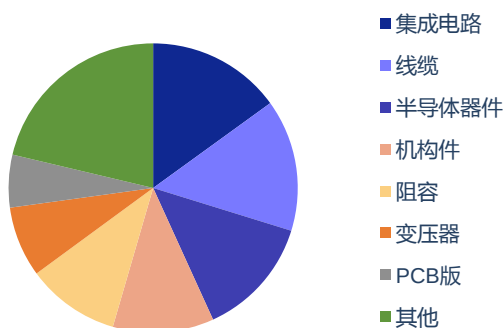
资料来源：公司公告，安信证券研究中心

3. 海外龙头起步领先，国内厂商加速追赶

3.1. 当前全球微型逆变器市场格局较为集中

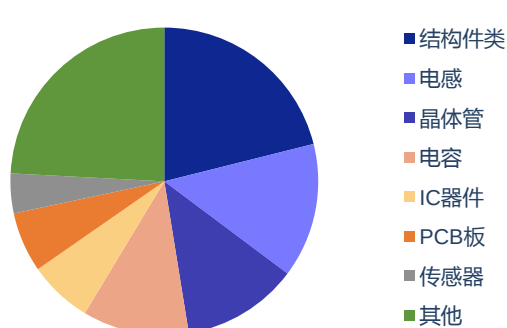
微型逆变器与集中式/组串式逆变器存在明显技术路线差异，市场参与者重叠度较小。从电压等级上看，目前集中式逆变器的输入电压等级普遍达到 1500V，组串式逆变器的电压等级则一般为 600V-1500V，整体上属于高压、强电范畴，在技术层面与传统的电力电子领域更为贴近。相较而言，微型逆变器的输入电压等级一般为 40-60V，更偏向于芯片设计、嵌入式软件等微电子层面。根据招股说明书中的披露，昱能科技原材料采购成本中集成电路与半导体器件的占比接近 30%，结构件、电阻、电容等器件的占比则相对较少，成本结构与组串式逆变器存在一定差异。因此，从发展早期开始，集中式/组串式逆变器市场与微型逆变器市场的参与者就可谓“泾渭分明”，前者最早以 SMA、KACO、Schneider、ABB 等欧系电气厂商为代表，后者则以美系微电子厂商为主。

图 26：昱能科技原材料采购结构



资料来源：招股说明书，安信证券研究中心

图 27：锦浪科技原材料采购结构



资料来源：招股说明书，安信证券研究中心

微型逆变器市场参与者相对有限。整体上看，由于长期以来微型逆变器的应用规模较为有限，市场参与者数量也相对较少，主要集中在北美以及中国。我们预计组串式厂商与微型逆变器厂商之间的界限将长期存在，对于传统组串式厂商而言，微型逆变器在技术层面存在较大差异，在市场策略层面则对自身原有产品体系构成较大挑战，因此更倾向于通过组串式逆变器配套关断器/优化器的方案实现组件级控制，而非跨界进入微型逆变器领域。

表 9：全球主要微型逆变器厂商

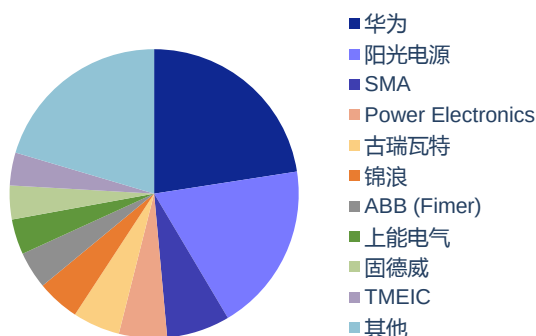
公司	创立地	生产/研发微逆时间	经营状态
SolarBridge	美国	2004	2014 年被 SunPower 收购，2018 年转卖给 Enphase
Enphase	美国	2006	2012 年纳斯达克上市
NEP	美国	2009	2020 年重组，2021 年完成 Pre-A 轮融资，全球运营总部迁至苏州
Chilicon Power	美国	2009	2021 年被户用/工商业发电机厂商 Generac 收购
SPARQ Systems	加拿大	2009	正常
昱能科技	美国	2009	2022 年 A 股科创板上市
禾迈股份	中国	2012	2021 年 A 股科创板上市
德业股份	中国	2016	2020 年上交所主板上市

资料来源：公司网站，安信证券研究中心

当前全球微型逆变器市场格局较为集中，Enphase 龙头地位突出。光伏产业发展至今逆变器行业已经历数轮洗牌，当前全球范围内规模较大、较为活跃的逆变器厂商约有 15-20 家，根据 Wood Mackenzie 统计 2020 年全球逆变器出货 CR3/CR5/CR10 分别为 49%/59%/80%。相较而言，微型逆变器作为一个相对独立的细分领域，其市场格局呈现高度集中的态势，

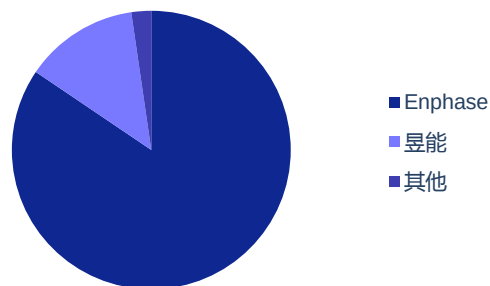
Enphase 占据 80%左右的份额，龙头地位突出。

图 28：2020 年全球光伏逆变器出货量份额情况



资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

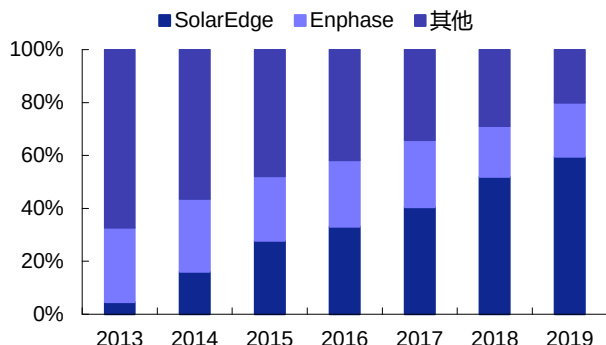
图 29：2020 年全球微型逆变器市场份额情况



资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

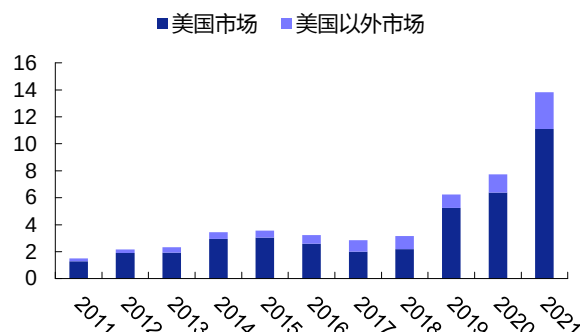
长期坚守叠加政策倾斜造就 Enphase 美国市场优势地位。2018 年前 Enphase 连续亏损接近十年，NEC 2017 推出后组件级关断方案成为美国户用市场刚需，与此同时 2018 年起中美贸易摩擦客观上对中国逆变器厂商在美国市场的发展形成了较大阻碍，SolarEdge 与 Enphase 两家美国本土户用逆变器厂商则成为最大受益者。根据 Wood Mackenzie 的统计，2020 年起 SolarEdge 与 Enphase 两家厂商占据了美国户用逆变器市场 90%左右的份额，就 Enphase 自身而言，其 80%左右的收入均来自美国本土市场。

图 30：美国户用逆变器市场份额情况



资料来源：Wood Mackenzie，安信证券研究中心

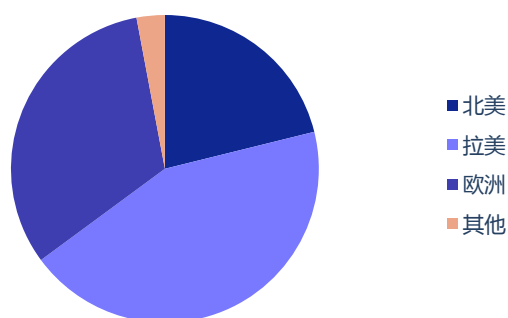
图 31：Enphase 收入地区分布情况（亿美元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

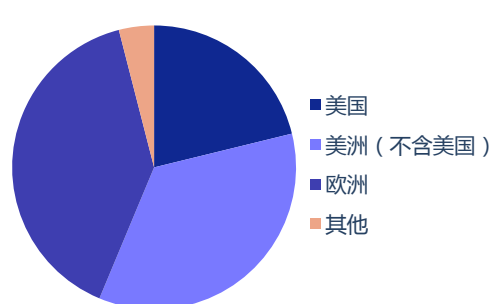
国内微型逆变器厂商错位竞争，主打欧洲及拉美市场。虽然美国是全球最大的微型逆变器市场，但考虑到 Enphase 等本土厂商的地位较为稳固，当前国内微型逆变器厂商的市场主要分布在欧洲、拉美等其他海外地区。2021 年昱能美国市场以外的收入占比接近七成，禾迈微型逆变器海外收入中亦有 80%左右来自北美以外地区，整体上看国内厂商与龙头 Enphase 存在一定的错位竞争关系。

图 32：2021 年禾迈微型逆变器境外销售地区分布



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

图 33：2020 年昱能微型逆变器境外销售地区分布

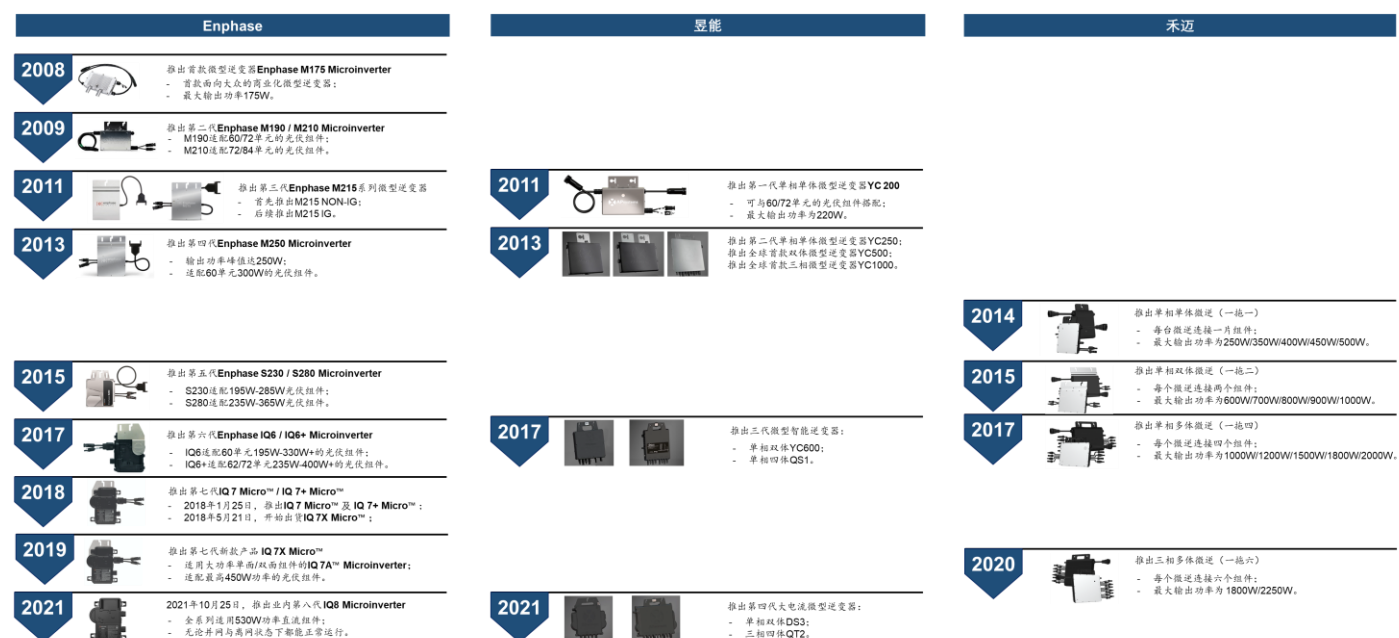


资料来源：公司公告，安信证券研究中心

3.2. 国内厂商追赶脚步加快

海外龙头起步较早，国内微型逆变器厂商快速追赶。作为全球微型逆变器的首创者，龙头厂商 Enphase 在产品技术上长期处于引领状态，自 2008 年首次推出微型逆变器以来其产品已经迭代至第 8 代，功率等级由 175W 提升至 500W+。相较而言，国内微型逆变器厂商起步稍晚，在发展初期技术积累与海外龙头厂商相比存在一定差距。经过多年的努力，近年来国内微型逆变器厂商无论是在产品迭代速度还是在性能指标上均开始追赶甚至超越国际先进水平，陆续推出多体、三相、大电流、高功率等创新产品。与集中式/组串式逆变器领域的发展历程类似，我们认为国内微型逆变器厂商已经在技术上实现从追赶到引领的转变。

图 34：国内外微型逆变器厂商产品迭代情况



资料来源：公司网站及公告，安信证券研究中心

国内微型逆变器厂商主要采取差异化竞争路线，产品性价比优势突出。如前所述，自问世以来微型逆变器一直是一种高成本的小众方案，主要面向对安全性、产品性能要求较高的终端客户，因此 Enphase 等海外微型逆变器厂商始终主打高端路线，产品以单相单体方案为主，一台微型逆变器通常只连接一块组件，单瓦成本较高。相较而言，国内厂商在海外渠道、品牌上并无优势，因此更加注重产品本身的性价比，产品体系由最初的单体方案逐步朝一拖二、

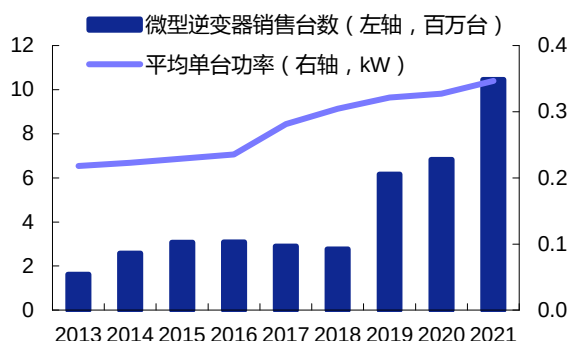
一拖四甚至一拖八的多体方案升级，目前最高单机功率超过 3kW，在单瓦成本上具备显著优势。根据招股说明书中的披露，2020 年开始昱能的单体微型逆变器已基本处于停售状态，禾迈单体逆变器的收入占比也仅为 5%左右。

表 10：海内外微型逆变器厂商产品体系对比

厂商	产品型号	规格	最大输出功率 (W)	最大输入直流电压 (V)	最大输入电流 (A)
Enphase	IQ8-60-2-US	一拖一	245	50	15
	IQ8PLUS-72-2-US		300	60	15
	IQ8D-72-US	一拖二	640	60	15
NEP	BDM-500	一拖一	550	60	25
	BDM-800	一拖二	800	60	17
Chilicon Power	CP-250E	一拖一	289	60	13.5
	CP-720	一拖二	720	60	13.5
SPARQ Systems	The Quad 1200	一拖四	1200	50	16
昱能科技	YC250A/I	一拖一	250	55	12
	DS3	一拖二	880	60	20
	QT2	一拖四	2000	60	20
	QT2D	一拖八	3600	60	20
禾迈股份	HM-300	一拖一	300	60	11.5
	HM-350		350	60	11.5
	HM-400		400	60	12.5
	HM-600		600	60	11.5
	HM-700	一拖二	700	60	11.5
	HM-800		800	60	12.5
	HM-1000		1000	60	10.5
	HM-1200	一拖四	1200	60	11.5
	HM-1500		1500	60	11.5
	HMT-1800	一拖六	1800	60	11.5
	HMT-2250		2250	60	11.5
德业股份	SUN1000G3-EU-230	一拖二	1000	60	13
	SUN2000G3-EU-230	一拖四	2000	60	13

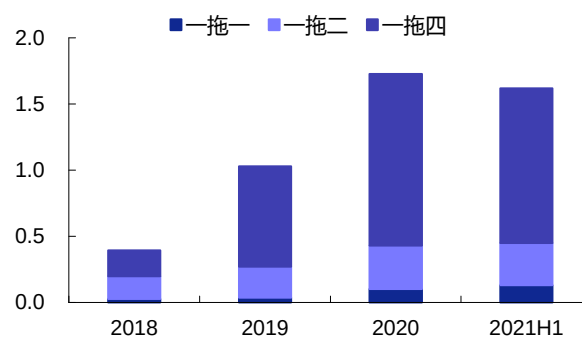
资料来源：公司网站，安信证券研究中心

图 35：Enphase 微型逆变器销售台数计平均功率情况



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

图 36：禾迈股份微型逆变器销售结构（亿元）

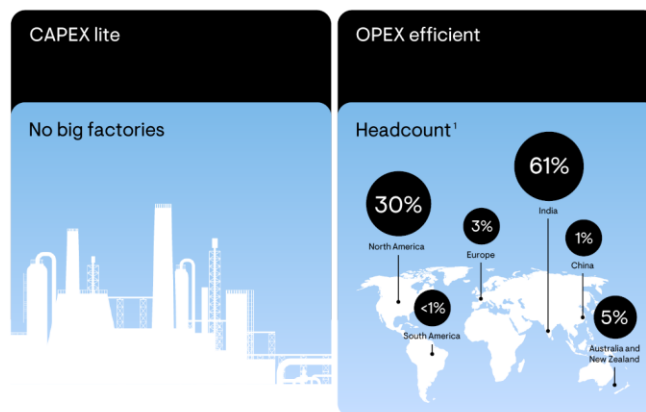


资料来源：招股说明书，安信证券研究中心

依托国内强大的电力电子及光伏产业基础，国内微型逆变器厂商在生产制造及供应链把控上也具有一定优势。此前微型逆变器市场的整体出货量相对较小，厂商的核心竞争力主要体现在技术研发、产品设计、软件算法等层面，生产制造环节的规模相对有限，亦可通过外协、

代工等方式加以解决，例如 Enphase 的研发、销售、管理人员基本集中在北美，组装制造则主要由中国、墨西哥、印度等地的代工厂负责。但随着产品产销规模的持续扩大，生产端的效率与供应链的把控能力将变得愈发重要，而在这些方面国内制造业普遍具有较强的比较优势，因此我们看好国内微型逆变器厂商能够在制造环节实现更好的成本控制与交付效率，从而进一步压缩成本、提升盈利能力。

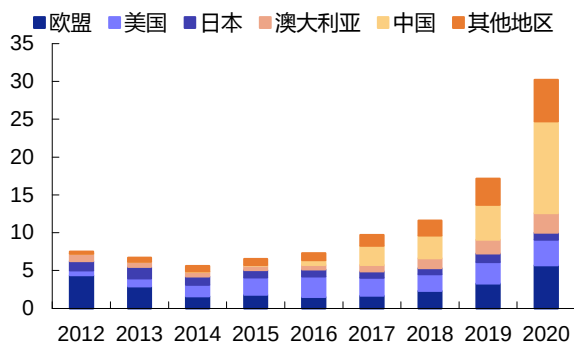
图 37: Enphase 在制造组装环节主要采取代工模式



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

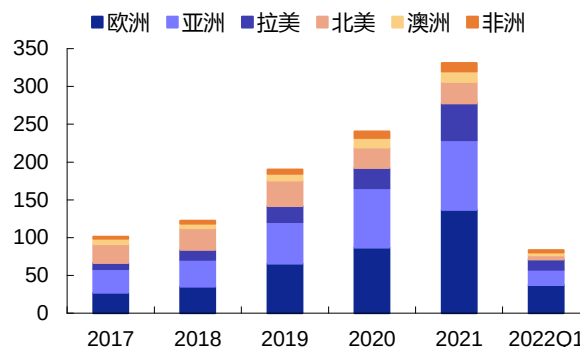
全球户用光伏市场蓬勃发展，国内厂商抢抓美国以外市场机遇。如前所述，当前美国占据了全球微型逆变器市场的大部分份额，与此同时在关税、专利、品牌、渠道等方面对国内厂商形成了较高的进入壁垒，因此短期内在美国本土挑战 Enphase 存在一定难度。近年来，无论是欧洲、澳洲、日本等发达地区，还是拉美、中东、非洲等新兴地区，户用光伏市场均呈现蓬勃发展态势，全球装机区域更加多元化。我们认为国内厂商在非美国市场具备较强的综合竞争优势（尤其是对价格更为敏感的新兴市场），有望充分受益海外微型逆变器的加速渗透。根据海关总署披露数据，2021 年国内逆变器出口金额同比增长 38%，其中欧洲、拉美地区表现尤为亮眼，增速分别达到 57%/83%，2022Q1 亦维持了 50%左右的高速增长。

图 38: 全球户用光伏装机区域趋向多元化（单位：GW）



资料来源：BNEF，安信证券研究中心

图 39: 国内逆变器出口额及地区构成（亿元）



资料来源：海关总署，安信证券研究中心

综上所述，我们认为国内微型逆变器厂商对海外龙头的追赶正在加速，近年来昱能、禾迈、德业等相关企业亦通过登陆资本市场大幅扩充了自身的规模实力，未来有望实现行业爆发与公司发展的共振，快速提升自身的业务规模与市场份额。

4. 重点上市公司

4.1. 昱能科技：行业老兵，厚积薄发

公司为微型逆变器“老兵”，十余年发展铸就行业领先地位。昱能是全球范围内最早实现微型逆变器量产出货的厂商之一，自 2010 年设立以来始终专注于分布式光伏系统组件级电力电子设备领域，目前累计出货量超过 2GW，产品销往全球 90 余个国家和地区。据 Wood Mackenzie 统计，2020 年公司微型逆变器出货量位列全球第二、国内第一，仅次于龙头 Enphase。

图 40：昱能科技产品体系发展历程



资料来源：招股说明书，安信证券研究中心

公司创始人及核心管理团队具备较强的专业背景，技术积累深厚。公司创始人凌志敏、罗宇浩先生分别为微电子、电机工程博士，曾就职于 XLINX、SOLARIA 等全球领先的半导体及光伏行业公司，其他核心技术人员亦在微电子或电气领域具有丰富的行业经验。因此，公司自成立以来就具备较强的研发基因与国际化的人才队伍，技术水平行业领先，先后研制出全球首款取得欧美认证的三相微型逆变器及全球首款单相四体微型逆变器。

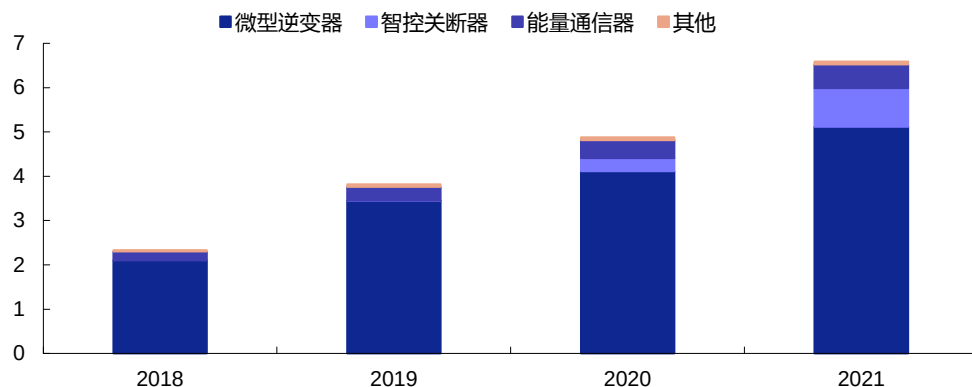
表 11: 昱能科技创始团队及其他核心技术人员情况

人员	职位	学历背景	简介
凌志敏	董事长 总经理	微电子专业博士	比利时鲁汶天主教大学微电子博士，美国加利福尼亚大学伯克利分校电子工程与计算机博士后，曾先后就职于 AMD、XILINX、SOLARIA 等全球领先的半导体及光伏行业公司，科技部“国家创新人才推进计划”科技创新创业人才。
罗宇浩	首席技术官 董事	电机工程专业博士	美国加州大学洛杉矶分校电机工程博士，曾先后就职于 XILINX，SOLARIA 等全球领先的半导体及光伏行业公司，国家光伏产品质量检测中心光伏电站及逆变器领域技术专家。
周懂明	设计总监 设计副总经理	测试计量技术及仪器专业硕士	南京航空航天大学测试计量技术及仪器专业硕士研究生学历。2006 年至 2007 年任上海航空测控技术研究所硬件开发项目主管；2007 年至 2008 年任中兴通讯股份有限公司嵌入式系统研发（FPGA）硬件工程师；2008 年至 2010 年任 Atmel 半导体科技有限公司嵌入式应用开发软件工程师。2010 年 5 月至今历任公司设计总监、设计副总经理，主要负责公司新产品的软硬件设计与调试工作。
吴国良	技术总监 技术副总经理	电力电子与电力传动专业硕士	浙江大学电气工程学院电力电子与电力传动专业硕士研究生学历。2006 年 6 月至 2010 年 6 月于台达能源技术（上海）有限公司设计中心先后任电子工程师及高级电子工程师职务。2010 年 6 月至今历任公司技术总监、技术副总经理，主要负责公司新产品开发及产业化工程。
祁飏杰	微型逆变器设计总监	电力电子与电力传动专业硕士	南京航空航天大学电力电子与电力传动专业硕士研究生学历。2008 年至 2009 年任中航雷达与电子设备研究院电源开发工程师；2009 年至 2010 年任中电电气（南京）太阳能研究院有限公司光伏组串式并网逆变器软硬件工程师、项目主管；2010 年，任中达电子（江苏）有限公司南京分公司中高压变频器软件开发工程师；2011 年至 2012 年，任浙江海得新能源有限公司风机变流器软件开发工程师。2012 年 6 月至今任公司微型逆变器设计总监，主要负责公司微型逆变器产品的软硬件设计与调试工作。

资料来源：公司公告，安信证券研究中心

公司全面布局组件级电力电子设备，产品体系持续拓宽。在深耕微型逆变器的同时，近年来公司的产品体系亦不断推陈出新，2019 年底公司成为全球第二家推出面向美国市场符合 Sunspec 行业标准的智控关断器的厂商，形成了微型逆变器与组串式逆变器+关断器/优化器两大技术路线并行的业务布局。同时，公司已开发配套微型逆变器的能量通信及监控分析系统，可有效帮助终端用户对分布式光伏系统进行实时监控与高效运维。2021 年公司微型逆变器、智控关断器、能量通信器业务分别实现营业收入 5.12/0.87/0.53 亿元，占营业收入比重分别为 77.0%/13.2%/8.0%。

图 41: 昱能科技收入构成情况（亿元）

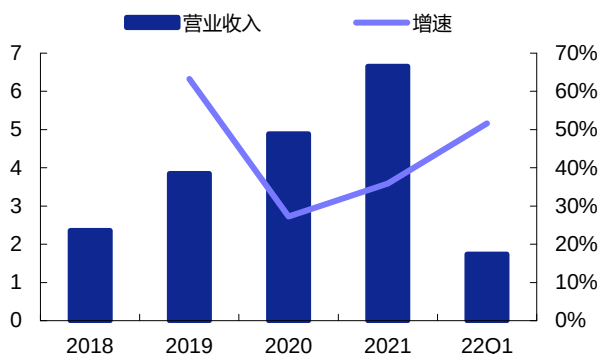


资料来源：公司公告，安信证券研究中心

公司业绩高速增长，盈利能力持续提升。随着全球范围内微型逆变器的应用逐步推开，近年来公司业绩增长明显提速，2018-2021 年间公司营业收入由 2.36 亿元增长至 6.65 亿元，年均增长超过 40%。在业务高速扩张的同时，公司毛利率基本维持稳定，各项费用率则明显摊

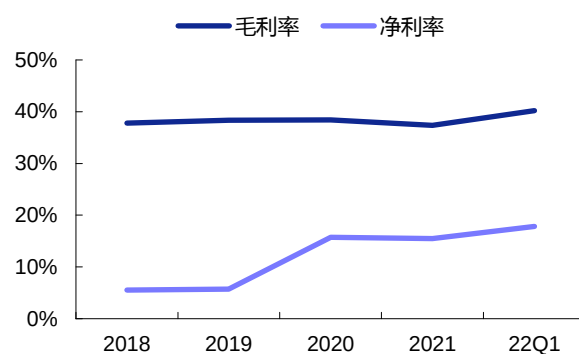
薄，带动公司整体盈利能力持续提升，2018-2021 年公司归母净利润由 0.13 亿元增长至 1.03 亿元，年均增长接近 100%。2022 年一季度公司分别实现营业收入、归母净利润 1.74/0.31 亿元，同比增长 51.6%/123.9%，高速增长势头不减。

图 42：昱能科技归母净利润变化情况（亿元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

图 43：昱能科技毛利率、净利率情况

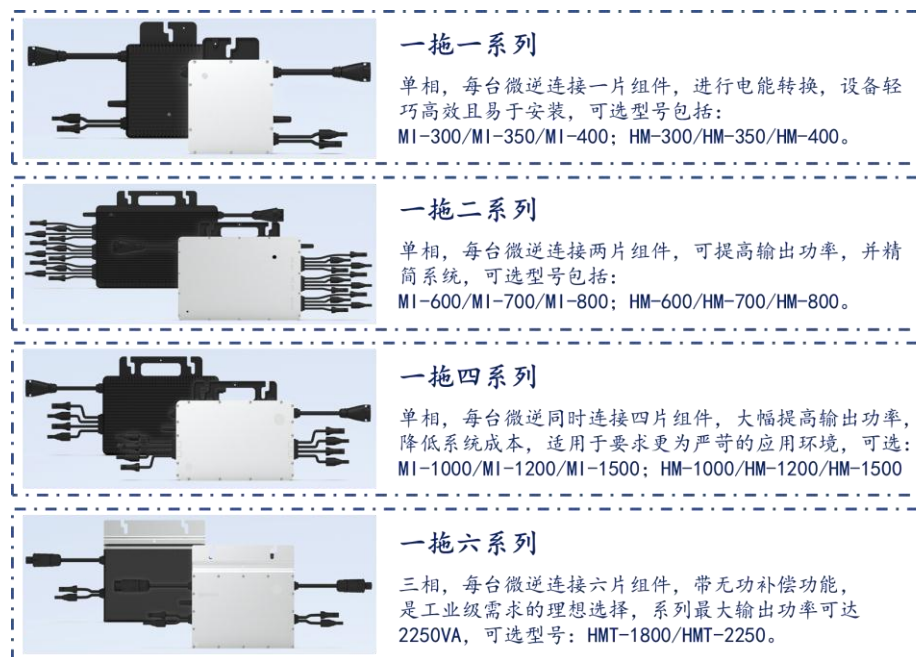


资料来源：公司公告，安信证券研究中心

4.2. 禾迈股份：微逆新星，快速崛起

公司深耕电力变换设备及电气成套设备领域，微逆产品体系齐全。公司创始及核心管理团队来自浙江大学等国内知名高校，在电力电子领域具备较强的技术实力，经过多年的研发与产业化结合逐步形成了光伏逆变器、微逆等电力变换设备以及电气成套设备的业务布局。公司自 2012 年起开始进行微型逆变器的研发，在自主掌握电路拓扑与控制算法等核心技术的基础上相继推出了一系列微逆产品，目前产品功率范围涵盖 300W 至 2kW+，已在全球范围内形成一定的市场地位，客户遍及美洲、欧洲、亚洲等多个地区。

图 44：禾迈微型逆变器产品系列

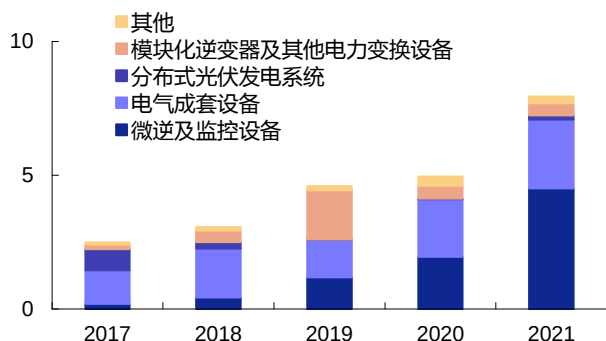


资料来源：公司公告，安信证券研究中心

公司微型逆变器业务快速放量，盈利能力出色。2017-2021 年间，公司营业收入由 2.49 亿元增长至 7.95 亿元，其中微型逆变器业务收入由 0.20 亿元大幅提升至 4.52 亿元，是驱动公

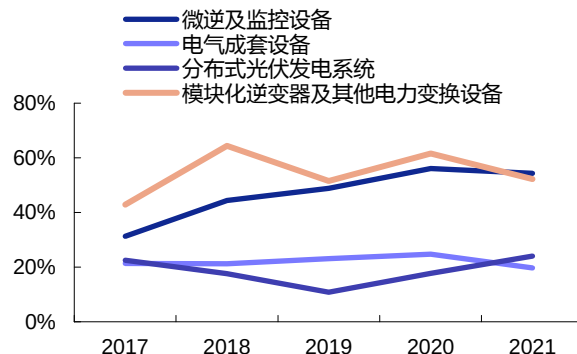
司收入增长的主要因素。从盈利能力上看，近两年公司微型逆变器业务毛利率保持在 55% 左右的高水平，微逆业务的放量带动公司整体归母净利润由 2017 年的-0.20 亿元快速增长至 2021 年的 2.02 亿元。

图 45：禾迈股份营收构成情况（亿元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

图 46：公司各项业务毛利率情况



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

公司大额募资扩充产能，各项业务发展有望进一步提速。2021 年底公司完成科创板 IPO 上市，共募集资金 54.06 亿元（扣除发行费用后），将用于公司智能制造基地的建设以及储能逆变器等新产品的研发与产业化。在下游需求高度景气的背景下，公司自身制造端产能以及资金实力亦得到显著提升，进一步奠定未来发展的基础。

表 12：公司 IPO 募投项目及实际募集资金情况（亿元）

	项目总投资金额	拟投入募集资金金额
禾迈智能制造基地建设项目	2.58	2.58
储能逆变器产业化项目	0.89	0.89
智能成套电气设备升级建设项目	0.72	0.72
补充流动资金	1.40	1.40
合计	5.58	5.58
实际募集资金（扣除发行费用）	54.06	

资料来源：公司公告，安信证券研究中心

4.3. 德业股份：光储并济，微逆可期

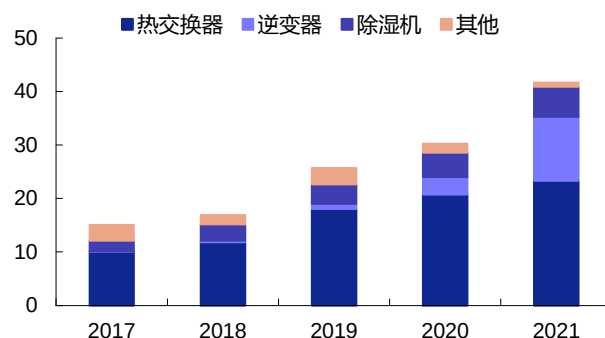
公司立足传统家电领域，打造逆变器业务新增长点。公司成立初期主要从事注塑件、模具、钣金件的生产与销售，2007 年起逐步在电路控制、空调热交换器等家电相关领域加大布局，2015 年正式确立热交换器（空调配套）、电路控制（逆变器等）与环境控制（除湿机等）三大发展主线。长期以来公司家电业务保持稳健发展，目前已成为国内规模最大的专业翅片式热交换器制造商，自主品牌除湿机销售额亦多年位列行业前列。在此基础上，近年来公司逆变器业务快速成长，2021 年实现收入 11.98 亿元，总营收占比接近 30%，2017-2021 收入年均增速达到 241%。

图 47：德业股份业务布局



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

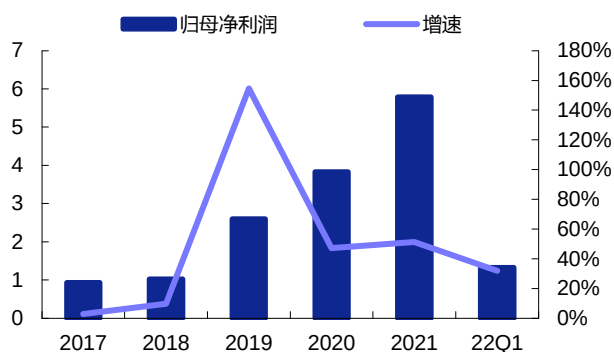
图 48：德业股份营收构成（亿元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

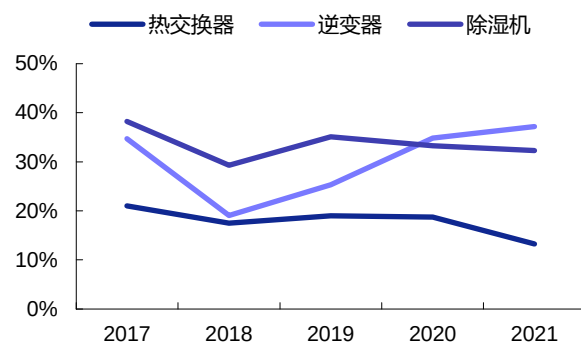
逆变器业务盈利能力优秀，带动公司业绩增长加速。2017-2021 年间公司营业收入由 15.06 亿元增长至 41.68 亿元，归母净利润则由 0.91 亿元上升至 5.79 亿元，对应 CAGR 分别为 35.0%/44.9%，在近年来家电行业整体增速放缓的背景下，逆变器业务已成为拉动公司业绩的主要增长点。此外，随着业务规模的扩大以及产品结构的优化，近年来公司逆变器业务盈利能力持续提升，2021 年公司热交换器及除湿机业务毛利率受大宗原材料价格上涨影响分别同比下滑 5.5%/1.0%，而逆变器业务毛利率则达到 37.2%，逆势提升 2.4%。

图 49：德业股份归母净利润变化情况（亿元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

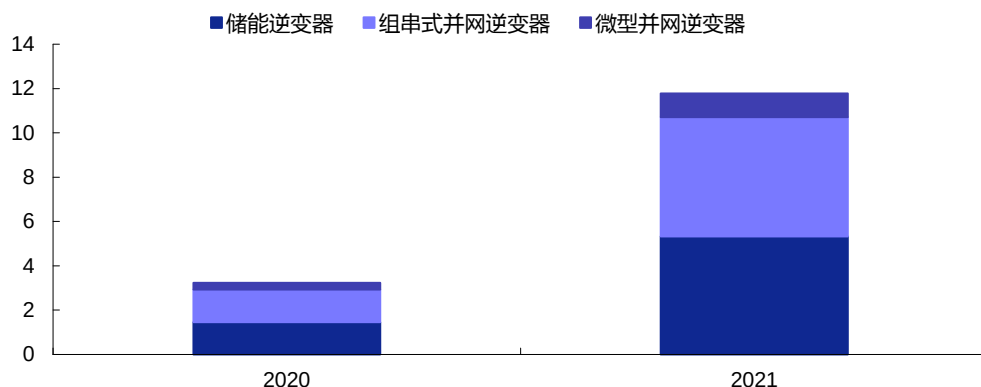
图 50：德业股份各项业务毛利率情况



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

公司逆变器业务聚焦储能、微逆等差异化细分市场，具备较强技术、渠道基础。目前传统的组串式并网逆变器市场已较为成熟，头部厂商在产品、渠道等方面具备一定优势，新进入者需要克服的壁垒相对较高。因此，公司逆变器业务从起步初期就聚焦储能、微逆等差异化细分市场，2021 年公司逆变器业务中储能逆变器/组串式并网逆变器/微型并网逆变器的收入分别为 5.32/5.39/1.07 亿元。整体来看，公司在技术、渠道等方面具有较强积累，就微型逆变器领域而言，2020 年公司已开发出可实现 4 路 MPPT 跟踪的产品（8 路 MPPT 跟踪产品亦逐步转入量产），在功率密度、功率范围及转换效率上均有较强的竞争优势。

图 51：德业股份 2020-2021 年逆变器业务收入构成（亿元）



资料来源：公司公告，安信证券研究中心

5. 风险提示

- 1) 微型逆变器推广不及预期：**虽然微型逆变器具有安全、高效、灵活的优势，但其应用很大程度上取决于各地区的分布式光伏并网规范，若后续相关标准变动，微型逆变器推广速度可能受到影响。
- 2) 技术迭代风险：**光伏逆变器技术方案处于持续迭代升级过程当中，若后续组串式逆变器+关断器/优化器的方案取得较大技术突破，或微型逆变器后续的降本速度不及预期，则微型逆变器的应用范围可能会逐渐收窄。
- 3) 海外贸易摩擦风险：**当前微型逆变器主要应用于海外市场，若后续美国、欧洲等地区对国内光伏产业施加新的贸易限制手段，则国内厂商在海外市场的销售可能受到影响。
- 4) 市场竞争加剧：**当前微型逆变器行业市场参与者相对较少，未来不排除有新的市场参与者进入，导致行业竞争加剧，相关厂商盈利能力下滑。

■ 行业评级体系

收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

■ 分析师声明

本报告署名分析师声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准，如有需要，客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下，本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设，并采用适当的估值方法和模型得出的，由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性，估值结果和分析结论也存在局限性，请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区深南大道 2008 号中国凤凰大厦 1 栋 7 层

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路 638 号国投大厦 3 层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街 2 号楼国投金融大厦 15 层

邮编：100034