

国内风电产业成本分析

侯 焱

(机械工业北京电工技术经济研究所)

摘要：针对我国风电产业情况，重点分析了风电场、风力发电机组、风电变流器成本构成。

关键词：风电产业；成本分析

1 风电场成本分析

细分来看，陆上风电和海上风电将陆海并驾齐驱，分别达到 60GW 和 40GW 左右的新增装机规模。陆上风电方面，受益于风光大基地项目的推进，以及分散式风电的发展潜力，陆上风电市场需求将保持稳定增长。根据国家发展改革委、国家能源局发布的《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》，到 2030 年规划建设风光基地总装机约 455GW，其中“十四五”和“十五五”时期规划建设风光基地总装机约 200GW 和 255GW。目前第一批大型风电光伏基地 9705 万 kW 已全部开工，第二批、第三批基地项目陆续推进。另一方面，我国中东南部地区位处负荷中心，用电需求量大，伴随着风电机组技术创新，低风速的中东南部区域（5~6m/s）也具备较大的风电开发潜力。备案制简化审批流程，分散式风电迎来发展契机。

海上风电方面，受益于海上风电成本下降、技术进步、政策支持等因素，海上风电市场需求将快速增长。根据国家能源局《关于加快推进海上风电建设的通知》，到 2025 年我国海上风电累计并网装机将达到 7000 万 kW 以上。目前我国海上风电已经实现了从沿海近海到深水区海的跨越式发展，从单一的固定式基础到多元化的浮式基础的创新突破，从单一的

东部沿海到多区域协调发展的空间拓展。随着海上风电主机价格下降也将推动海风大规模平价进程加快，运营商投资热情增强。

风电行业技术创新不断突破，大型化趋势仍未放缓。随着风电项目进入平价时代，降本增效成为行业发展的主旋律。大型化风电机组可以有效降低单 MW 成本、提高发电效率、降低运维难度，因此受到市场青睐。目前国内外风电机组厂商都在加大对大型化风电机组的研发和投放。

陆上风电方面，大型化风电机组的应用已经成为主流趋势，陆上已进入 6MW+ 时代。

海上风电方面，大型化风电机组的应用更是呈现爆发式增长。目前国内外风电机组厂商都在积极布局海上大型化风电机组，如明阳智能推出了 10MW 级海上超级直驱永磁风电机组 MYSE10-203；华锐风电推出了 10MW 级双馈变流海上风电机组 H151-10MW；通用电气推出了 13MW 级 Haliade-X 海上风电机组；金风科技推出了 16MW 海上风电机组 GWH252-16MW 等。

风电行业政策支持持续加强，供应链建设亟待完善。为了实现能源转型和气候目标，各国政府都在出台一系列支持风电发展的政策措施，如招标规模扩大、消纳条件改善、补贴延长等。这些政策有利于提升风电机组行业的市场信心和投资热情。然而，随着

市场需求的快速增长，供应链可能面临一些挑战和瓶颈，如原材料价格波动、运输成本上升、人力资源紧缺等。因此，加强供应链的投资和合作，提高供应链的韧性和多元化，是保障风电机组行业健康发展的重要任务。

国内方面，政策支持风电市场需求增长，同时也要求风电机组行业提高质量和效率。根据国家能源局《关于加快推进海上风电建设的通知》，到2025年我国海上风电累计并网装机将达到7000万kW以上，同时要求海上风电项目实施全寿命周期质量管理，提高海上风电设备的可靠性和安全性。根据国家发展改革委、国家能源局发布的《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》，到2030年规划建设风光基地总装机约455GW，同时要求风光基地项目实施高标准建设，提高风光协同发电的效率和稳定性。此外，为了促进分散式风电的发展，国家能源局发布了《关于进一步做好分散式风电建设管理工作的通知》，简化了分散式风电项目的备案流程，鼓励各地区制定支持分散式风电发展的政策措施。

国外方面，政策支持风电市场需求复苏，同时也带来一些本土化和贸易保护主义的压力。美国和欧洲可能会在2025年出现风电机组和部件的供应瓶颈，因为美国《降低通胀法案》和欧洲新能源目标的调整对风能发展将产生积极影响。这些政策不仅增加了风电市场的需求，也增加了对本土化生产和就业的要求。例如，美国《降低通胀法案》中规定，从2027年起，只有使用美国制造的关键部件和材料的风电项目才能获得投资税收抵免（ITC）或生产税收抵免（PTC）。此外，一些国家也在实施一些贸易保护主义措施，如对进口风电机组征收反倾销税或反补贴税等。这些措施可能会增加风电机组行业的成本和复杂性，甚至严重延缓风能和其他可再生能源的发展。

因此，风电机组行业需要加强供应链的投资和合作，提高供应链的韧性和多元化。一方面，需要加大对关键原材料、部件和设备的生产能力和技术水平的提升，降低对单一来源的依赖，提高对价格波动、运输困难、突发事件等风险的应对能力。另一方面，需要加强与各国政府、行业组织、客户等利益相关方的沟通和协调，推动更积极的全球合作，消除不必要的贸易壁垒，促进全球绿色经济革命在这个关键时期获得所需的投入。

2 风力发电机组成本分析

风电机组是将风的动能转换为电能的系统，包含了由风能到机械能和由机械能到电能两个能量转换过程。风力发电机组是由风轮、传动系统、偏航系统、液压系统、制动系统、发电机、控制与安全系统、变流器、机舱、塔架和基础等组成。

风电机组大型化是风电长期降本的有效途径。风电机组单机容量的大小直接决定着同等装机规模所需要的风电机组台数，进而影响风电场道路、线路、基础、塔架等的投资。风电机组使用更大的叶片，进而获取更高的扫风面积，切入的风速更低，在同样的地理位置上，能够捕获更多风能，提升单机容量，提升全寿命周期内发电机组的发电量；其次，机组大型化可有效摊低单位容量的原材料、基础、吊装、线路、土地等投资成本，并降低后续的运营、维修等成本和难度，降低度电成本，提升风电场收益率。

3 风电变流器成本分析

风电变流器在风电机组成本的占比约3~5%。变流器在风电机组的成本占比和技术路线存在一定关系，海上机组由于多数采用全功率变流器，因而占比略高。随着风电机组容量的加大，变流器在整机成本中的占比越来越低。但另一方面，由于电网中的可再

生能源比例不断提高，风电机组的电网适应能力已经成为机组运行稳定性的关键因素，这都有赖于风电变流器的良好表现。

风电变流器原材料的主要构成是电气部件和功率模块，受大宗价格影响较小。电气部件、功率模块、结构件的成本占比分别为 34.7%、29.5%，电气部件包括熔断器、断路器等，功率模块主要包括 IGBT 等，结构件主要包括铜排、散热器等。电气部件和 IGBT 的成本主要受产品规格和技术指标影响，而结构件成本受金属大宗交易价格的影响较大。

近年来在市场竞争压力下，风电变流器的价格不断下行，各个变流器厂商都加大了技术开发力度，采用了很多新工艺、新材料、新设计和器件国产化来实现降低成本的目的，但即便如此也难以改变利润率直线下滑的现状。与此同时，运营商对于运行可靠性和电网适应性的要求则越来越高。当前的风电变流器市场环境不容乐观，制造商和运营商都承担了难以预计的技术与商业风险。

4 风险成本分析

政策风险方面，电力行业是关系国计民生的基础性行业，是国民经济的重要产业部门。相比拥有一定成本优势的传统火电行业，从新能源发电的行业发展格局与增长速度来看，起初更多依赖政策规划与鼓励性补贴，逐步过渡到去补贴阶段。这使得风电变流器企业所处行业易受政策不确定性影响。

随着行业的发展和技术的逐渐成熟，在我国现行的电力体制下，新能源发电项目的上网电价与项目的核准时间或投运时间直接相关，投资者为保证其投资回报，在电价政策对上网电价向下调整之前会加快项目投资速度，对上游设备的需求会相应增加，上游设备行业的景气度提升。

风电变流器企业作为新能源发电项目的设备提供

者，短期内收入和利润规模都会受到政策调整和新能源发电项目建设速度的影响，存在一定的波动性。此外，如果出现整体产能过剩、无序竞争或其他行业环境恶化的情形，政府主管部门可能对于新能源发电的发展进行直接调控，尽管政府调控长期有利于行业健康有序成长，但若出现相关情形，短期来看，风电变流器企业业绩可能会承受一定压力。

竞争风险方面，在国内市场潜力的吸引下，从“补贴”时代到“去补贴”时代，当前，风电变流器企业逐步由“多”转“少”，向定制化方向转变，市场上主流机型的风电变流器产品竞争日趋激烈，市场上竞争对手数量的增加和其实力的增强可能对现有风电变流器公司的市场份额、议价能力和毛利率水平产生不利的影响。

技术风险方面，新技术和新产品开发的顺利实施是维持现有风电变流器公司竞争优势、保证公司盈利水平的核心因素之一，新技术、新产品的开发与设计需要投入大量的人力和物力，同时还存在着不可预计的技术难题和转化风险，如果现有风电变流器公司不能紧随市场进行研发或研发成果不能成功转化为新产品，则会对风电变流器公司现在的技术优势、产品竞争力乃至未来经营业绩产生不利影响。

作为高新技术企业，风电变流器公司主要产品的研发离不开核心技术人员的主导及参与。如果风电变流器公司不能根据市场变化而提供相应的具有竞争力的薪酬或其他激励机制，将可能令技术团队逐渐丧失积极性、创造性，进而引起核心技术人员的流失。

应收账款的风险方面，受风力发电行业项目建设进度和付款节奏的影响，存在应收账款增长较快引致的坏账损失风险和应收账款周转率下降的风险。受行业发展增速放缓情况的影响，若个别客户遭遇经营困难等不利情形，发生不能及时收回大额应收款项的情况，将对风电变流器公司的经营业绩造成较大不利影响。

(收稿日期：2024-10-05)