



Research and
Development Center

风电零部件系列专题（三）：风电铸件—大型化趋势提高行业壁垒，厚 大断面球铁技术持续精进

机械设备行业专题

2022年7月17日

证券研究报告

行业研究

行业周报

机械设备

投资评级

上次评级

刘卓 机械设备行业分析师
执业编号: S1500519090002
联系电话: 010-83326753
邮箱: liuzhuoa@cindasc.com

信达证券股份有限公司
CINDA SECURITIES CO.,LTD
北京市西城区闹市口大街9号院1号楼
邮编: 100031

风电零部件系列专题（三）：风电铸件--大型化趋势提高行业壁垒，厚大断面球铁技术持续精进

2022年7月17日

本期内容提要:

- **本周专题：**铸件下游应用领域较为广泛，风电领域需求占比约5%。铸件是集材料研发、熔炼、浇注、热处理、机加工和检测为一体的高技术产品，是重工装备制造业的关键基础部件之一。铸件产业链的上游原材料主要是生铁和废钢，辅助材料为树脂、球化剂、孕育剂、固化剂等，其中生铁、废钢所占生产成本比重较大。下游端，大型重工装备铸件广泛应用于重工装备制造的各个细分行业，是电力、通用机械、能源、造船、机床、矿山、冶金、石化等下游行业的基础性行业。在下游应用领域中，汽车领域应用占比为28.9%，机床工具占比16.4%，内燃机及农机占比10.40%，工程机械应用占比9.40%，发电设备及电力需求占比4.8%（风电铸件属于发电设备及电力）。风电铸件主要包括轮毂、底座、轴及轴承座、梁、齿轮箱部件（主要包括齿轮箱箱体、扭力臂、行星架）等，约占风电整机成本的8%-10%。根据中国铸造协会对风电设备行业平均水平进行测算，每MW风电整机大约需要20-25吨铸件，其中轮毂、底座、轴及轴承座、梁等合计约需15-18吨，齿轮箱部件约需5-7吨。
- 我国风电铸件产业保持全球领先地位，本土企业规模优势持续扩大。风电行业产业链全球化效应显著，在国内外风电市场融合发展及风电关键装备国产化政策的指导下，我国已形成一批具备全球竞争力的风电零部件制造企业。在风电铸件方面，以往全球大型重工装备铸件生产能力集中在欧洲、日本和韩国等发达地区，主要企业有法国克鲁索、德国辛北尔康普、日本制钢所、日本铸锻钢公司、神户制钢等等，这些企业由于发展历史悠久，其技术水平和生产能力拥有较大竞争力，但发达国家受人工成本、下游产业转移等因素的影响，铸件产业面临着整体性的结构调整和战略转移，随着国内企业产品技术的不断提高，国内生产的铸件在价格性能等方面具有较高的市场竞争力。全球风电铸件80%以上产能集中在我国，其余20%产能主要位于欧洲和印度。截至2019年末，全球风电铸件市场的前5家企业行业集中率达64%，
- 风电铸件行业进入壁垒较高，大型化趋势下技术要求提高。因大型风力发电机地理环境、使用年限等原因，风电机组对风电铸件性能要求更为苛刻，企业以研发应用球墨铸铁厚大断面技术为战略方向。由于大型风力发电机大多是装在条件比较恶劣的峡谷、高原、海边，加上一般风力发电机组的塔架高度都在70~90m，大型风电零部件都有几十吨，甚至上百吨，吊装费用不菲，因而，风电铸件要适应温度变化大，从40℃到-20℃，甚至-40℃及以下，需承受交变和冲击载荷以及潮湿和盐雾腐蚀等，而高空和海上更换成本巨大，要求有高可靠性，必须保证陆上风电20年不更换，海上风电30年不更换。目前市场上风电公司在研发技术方面，多以厚大断面球墨铸铁技术研发作为技术发展方向，以适应风机大型化及海风装机量大幅增长的趋势。
- 厚大断面风电铸件与普通球墨铸铁件相比，属于高韧性球墨铸铁。球

墨铸铁是通过球化和孕育处理得到的球状石墨，有效地提高了铸铁的机械性能，特别是提高了塑性和韧性，从而得到比碳钢还高的强度。而厚大断面球墨铸铁通常壁厚较大，壁厚大于 100 mm 的球墨铸铁件为厚大断面球墨铸铁件。厚大断面球墨铸铁应用领域较广，已经广泛地应用于矿山机械、电力、机床、动力、工程机械、装备等领域。国外发达国家在厚大断面球墨铸铁件的研制方面具有较高水平。当前，我国具备生产厚大断面球墨铸铁条件的企业有多家，主要有中国一重、中国二重、江苏吉鑫、宁波日月、宁夏共享、中信重工、永冠科技等。我国厚大断面球墨铸铁铸件技术已经较强，但与发达国家相比，在技术水平、人员素质、成本控制、管理实效等方面仍有一定差距，随本土企业厚大断面球铁技术的持续进步，有望在核心成长赛道如风电领域取得较快增长，同时也有望在其他大型装备领域实现工艺替代和国产替代，掌握核心技术能力的企业未来将具备较大的成长空间。

➤ **风险因素：**疫情反复风险、政策变动风险等。

目录

风电铸件—大型化趋势提高行业壁垒，厚大断面球铁技术持续精进.....	5
铸件下游应用领域较为广泛，风电领域需求占比约 5%.....	5
铸件上游原材料供应较为稳定，我国铸件产量占全球比例 49%.....	7
我国风电铸件产业保持全球领先地位，本土企业规模优势持续扩大.....	8
风电铸件行业进入壁垒较高，大型化趋势下技术要求提高.....	10
厚大断面球铁应用广泛，国产企业随技术提升有望拓展更多市场.....	13

表目录

表 1: 国内主要铸件制造厂商业务基本情况.....	9
表 2: 主要公司大型球墨铸铁件及厚断面技术掌握情况.....	12
表 3: 日月股份铸件核心技术.....	12
表 4: 普通球墨铸铁件与风电大型球墨铸铁件的性能要求比较.....	12

图目录

图 1: 铸件产业链.....	5
图 2: 2020 年中国铸件下游行业需求占比情况.....	5
图 3: 风电机组结构图示.....	6
图 4: 2020 年风电机组各部分结构成本占比情况.....	6
图 5: 风电铸件图示.....	6
图 6: 我国总发电量及风力发电量变化（亿千瓦时）.....	7
图 7: 我国 2017-2021 陆上/海上风电累计装机量（MW）.....	7
图 8: 铸件上游原材料价格/产量变化.....	7
图 9: 中国及全球铸件 2011 年-2020 年铸件产量（万吨）.....	8
图 10: 2020 年全球铸件产量分布.....	8
图 11: 2019 年中国主要企业风电铸件产能分布情况（万吨）.....	9
图 12: 风电铸件工艺流程.....	11
图 13: 铸造工艺分类.....	11
图 14: 5.0 MW 轮毂图示.....	13
图 15: 行星架铸造工艺示意图.....	13

风电铸件—大型化趋势提高行业壁垒，厚大断面球铁技术持续精进

铸件下游应用领域较为广泛，风电领域需求占比约 5%

铸件是集材料研发、熔炼、浇注、热处理、机加工和检测为一体的高技术产品，是重工装备制造业的关键基础部件之一。铸件产业链的上游原材料主要是生铁和废钢，辅助材料为树脂、球化剂、孕育剂、固化剂等，其中生铁、废钢所占生产成本比重较大。下游端，大型重工装备铸件广泛应用于重工装备制造的各个细分行业，是电力、通用机械、能源、造船、机床、矿山、冶金、石化等下游行业的基础性行业，下游行业的发展为大型重工装备铸件行业提供了市场支撑，但由于下游行业需求的铸件产品种类繁多、规格各异，又往往具有特定技术和性能要求，因此大型重工装备铸件行业的专业分工较为明显。

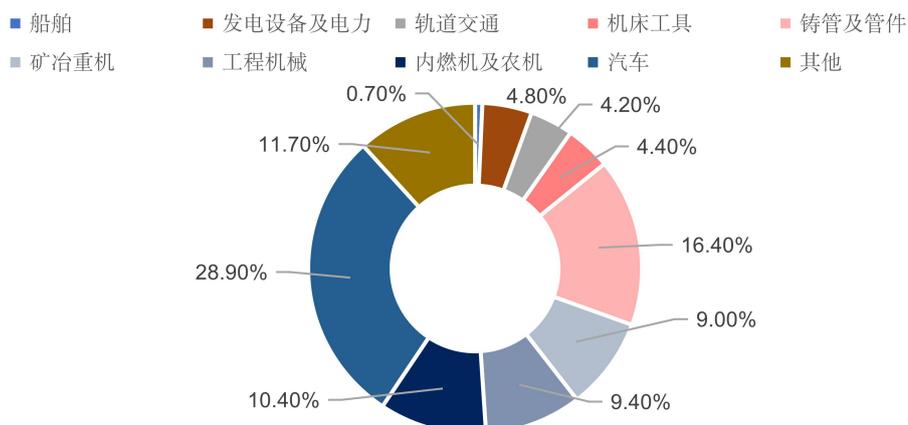
图 1：铸件产业链



资料来源：信达证券研发中心

在下游应用领域中，汽车领域应用占比为 28.9%，机床工具占比 16.4%，内燃机及农机占比 10.40%，工程机械应用占比 9.40%，发电设备及电力需求占比 4.8%（风电铸件属于发电设备及电力）。随着电力需求持续增长，可再生能源政策持续利好，风电产业装机量将保持持续增长，从而带动风电铸件需求持续增长。

图 2：2020 年中国铸件下游行业需求占比情况

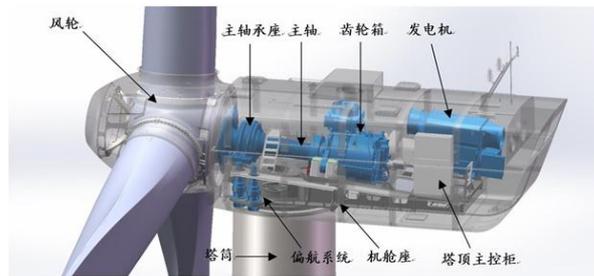


资料来源：华经情报网，信达证券研发中心

风电铸件主要包括轮毂、底座、轴及轴承座、梁、齿轮箱部件（主要包括齿轮箱箱体、扭力臂、行星架）等，约占风电整机成本的 8%-10%（即风电铸件与主轴、齿轮箱等零部件所用铸件占比之和）。根据中国铸造协会对风电设备行业平均水平进行测算，每 MW 风电整机大约需要 20-25 吨铸件，其中轮毂、底座、轴及轴承座、梁等合计约需 15-18

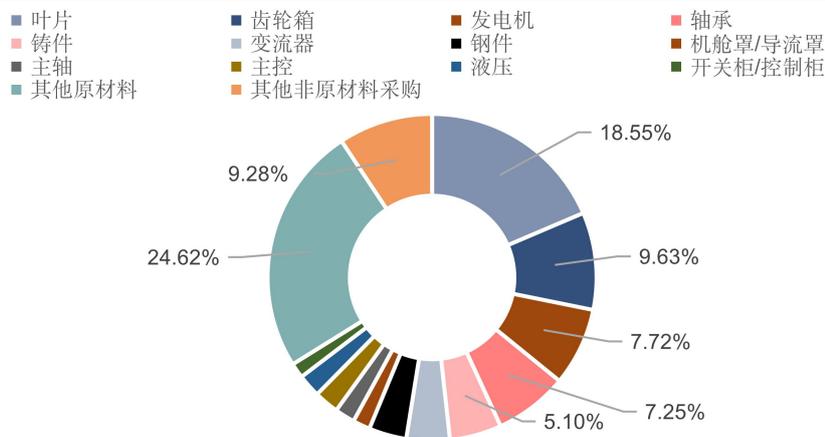
吨，齿轮箱部件约需 5-7 吨。

图 3: 风电机组结构图示



资料来源: 电气风电招股说明书, 信达证券研发中心

图 4: 2020 年风电机组各部分结构成本占比情况



资料来源: 电气风电招股说明书, 信达证券研发中心

图 5: 风电铸件图示



资料来源: 日月股份官网, 信达证券研发中心

我国风力发电量占比持续提升，海风进入高速增长期。2021 年海上风电累计装机量增速达 156.77%，新增装机量增速达 339.53%。2017 年至 2021 年风力发电量占总发电量比中

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 6

分别为 4.8%，5.2%，5.5%，6.0%，7.65%，占比稳定提升。2021 年全国新增风电并网装机容量为 4757 万千瓦，较 2020 年新增风电并网装机量的高基数有所下降，2020 年新增并网装机量达 7167 万千瓦；全国累计并网装机量稳步上升，至 2021 年达 32848 万千瓦，2017 年至 2021 年 CAGR 达 14.94%。2020 年起陆上风电补贴取消，陆上风电装机量增速放缓；而海上风电 2021 年受退补抢装影响，2021 年海上风电新增装机量达 1690 万千瓦，同比增速达 339.53%，2017 年至 2021 年海上风电新增装机量 CAGR 达 70.87%。据风电装机量不断提升的发展趋势来看，未来风电铸件市场需求规模也有望持续提升。

图 6：我国总发电量及风力发电量变化（亿千瓦时）



资料来源：国家能源局，信达证券研发中心

图 7：我国 2017-2021 陆上/海上风电累计装机容量 (MW)

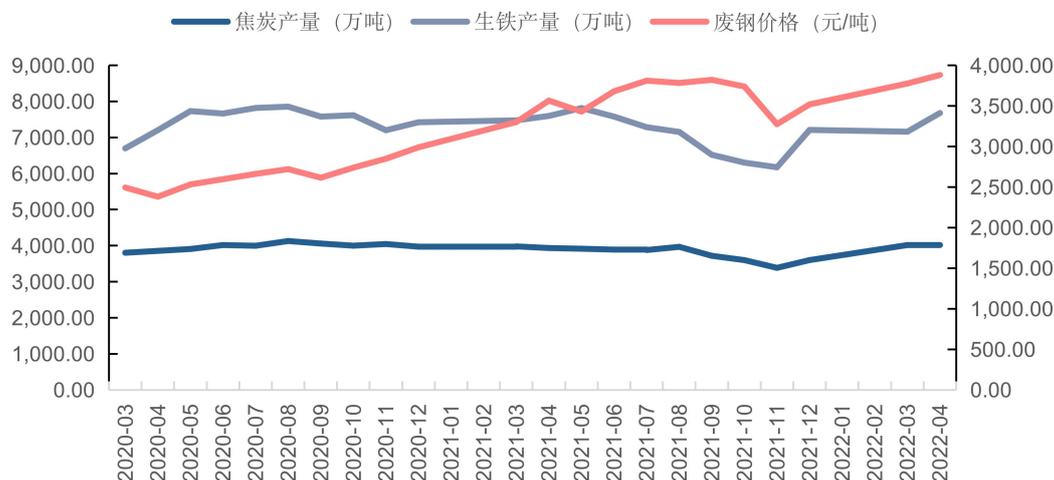


资料来源：国家能源局，信达证券研发中心

铸件上游原材料供应较为稳定，我国铸件产量占全球比例 49%

铸件上游材料端，目前我国焦炭、生铁整体当月产量基本保持稳定状态，2020 年至 2021 年间生铁、焦炭当月产量值虽有小幅下跌，但整体生产量位于 7000 万吨附近，整体供给稳定；随着我国机械工业持续发展，废钢价格呈现上升趋势。

图 8：铸件上游原材料价格/产量变化

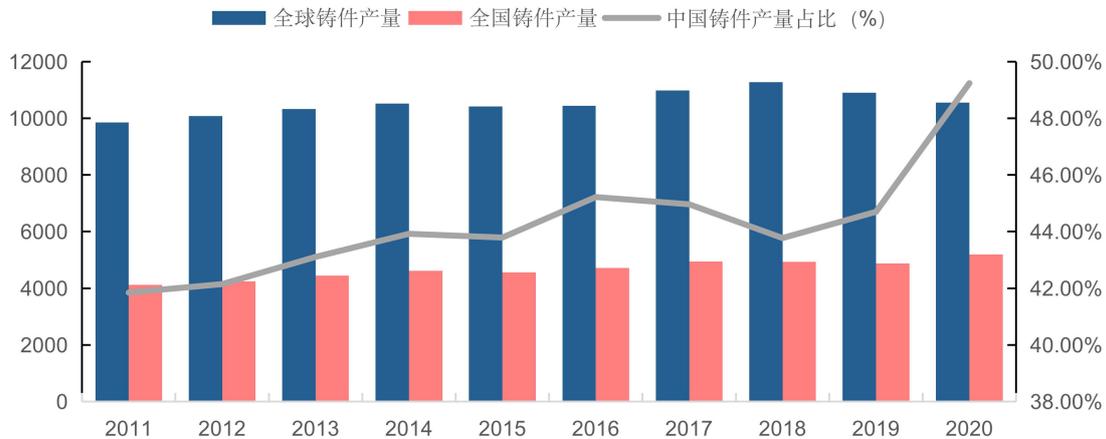


资料来源：Wind，信达证券研发中心

从我国铸件总产量变动情况而言，我国铸件生产规模巨大，产量多年来居世界首位，至 2020 年我国铸件产量已占全球铸件产量 49.24%。2011 年至 2020 年间，全球铸件产量较为平稳，2019 年后受疫情影响产量小幅下滑。在全球铸件产量平稳发展的同时，生产重心也在地区间发生着转移。随着全球经济一体化进程的加快和全球制造业不断向中国等国家转移，铸造行业也逐步转移到中国等发展中国家。以中国、印度等为代表的新兴工业国家的铸件生产能力不断增强、所占市场份额不断扩大。近年来我国经济持续快速增长、基础设施建设不断完善，对铸件的需求增长势头强劲，带动了全球铸件产量的平稳发展。据《Modern Casting》的全球铸件产量数据，2020 年，全球铸件总产量超 9360

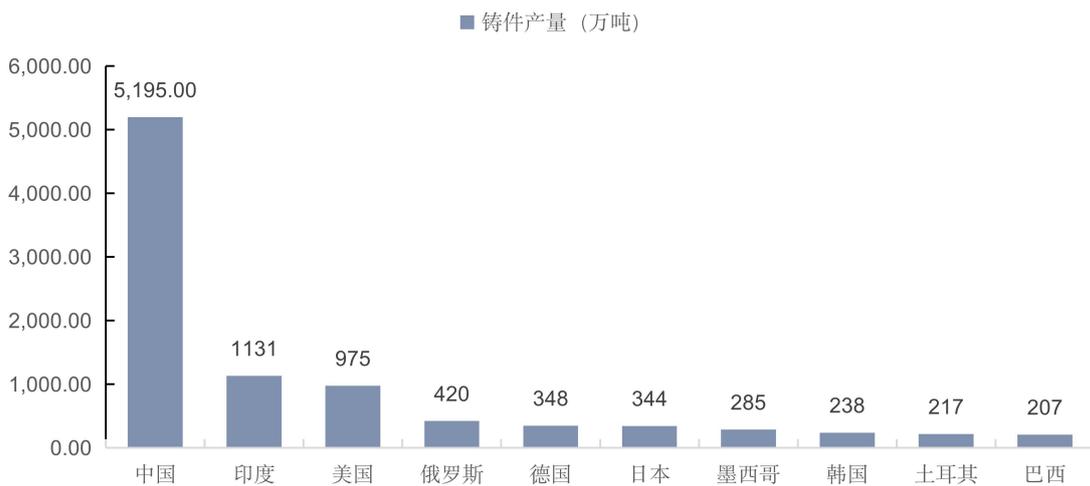
万吨，受疫情影响较 2019 年有所下降。其中，中国保持全球第一大铸件生产国的地位，占全球铸件产量近 49.24%。

图 9：中国及全球铸件 2011 年-2020 年铸件产量（万吨）



资料来源：Wind，信达证券研发中心

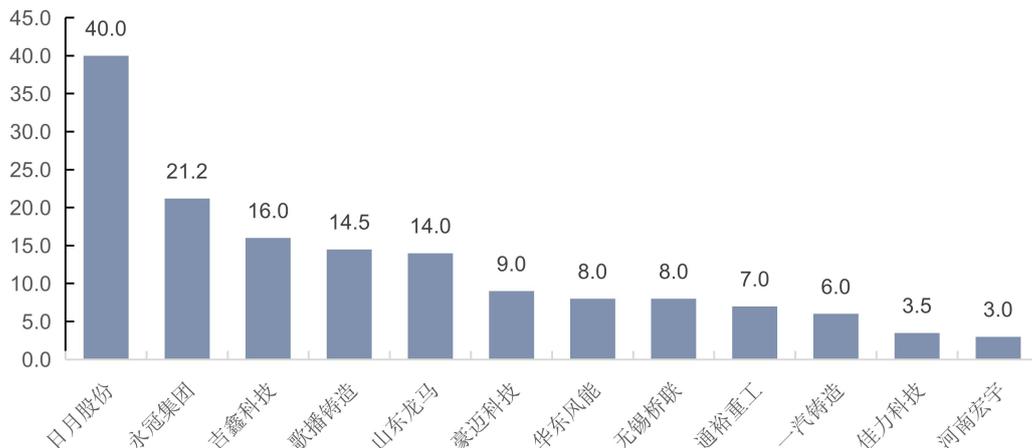
图 10：2020 年全球铸件产量分布



资料来源：Modern Casting，中商情报网，信达证券研发中心

我国风电铸件产业保持全球领先地位，本土企业规模优势持续扩大

风电行业产业链全球化效应显著，在国内国际风电市场融合发展及风电关键装备国产化政策的指导下，我国已形成一批具备全球竞争力的风电零部件制造企业。在风电铸件方面，以往全球大型重工装备铸件生产能力集中在欧洲、日本和韩国等发达地区，主要企业有法国克鲁索、德国辛北尔康普、日本制钢所、日本铸锻钢公司、神户制钢等等，这些企业由于发展历史悠久，其技术水平和生产能力拥有较大竞争力，但发达国家受人工成本、下游产业转移等因素的影响，铸件产业面临着整体性的结构调整和战略转移，随着国内企业产品技术的不断提高，国内生产的铸件在价格性能等方面具有较前高的市场竞争力。全球风电铸件 80% 以上产能集中在我国，其余 20% 产能主要位于欧洲和印度。截至 2019 年末，全球风电铸件市场的前 5 家企业行业集中率达 64%，其中日月股份产能远超其余风电铸件企业，产能在 2021 年达 44 万吨，其中风电铸件达 33 万吨。

图 11：2019 年中国主要企业风电铸件产能分布情况（万吨）


资料来源：日月股份公告，信达证券研发中心

从国内铸件企业来看，国有控股的大型综合性设备制造企业在铸件行业保持领先地位，民营企业则在某些细分领域占据优势并不断发展壮大。一般情况下，国有控股的大型综合性设备制造企业的铸件分厂或分公司，主要为集团内部成套设备提供配套服务，较少参与市场化竞争。代表性企业有一重、二重、上重、中信重工、大连重工等。在某些细分领域占据优势的规模化民营企业则充分参与市场竞争，弥补上述国有成套设备制造企业内部产能的不足，也为其他市场化成套设备制造商提供基础零部件配套。代表性的已上市企业主要有日月股份、吉鑫科技等。

表 1：国内主要铸件制造厂商业务基本情况

企业名称	铸件相关产品单件极限铸造能力	生产能力 (2016 年数据)
一重	500 吨铸钢件	铸钢件 6 万吨
二重	550 吨铸钢件	5-6 万吨金属结构件
上重	450 吨铸钢件	铸钢件 4 万吨
中信重工	200 吨灰铸铁件、150 吨球铁铸件	铸钢件 3 万吨
大连重工	210 吨铸件	铸钢件 8 万吨
公司	铸件相关产品单件极限铸造能力	生产能力 (2021 年数据)
日月重工	最大重量 130 吨的大型球墨铸铁件铸造能力	铸件共 40 万吨
永冠集团 (永祥铸造/陆霖铸造/东莞铸造)	50 吨球铁铸件	21.01 万吨
豪迈科技	最大单体铸件产能可达 100 吨	24 万吨 (2021 年数据)
吉鑫科技	100 余吨球铁铸件	16.20 万吨
佳力科技	35 吨球铁铸件	铁铸件 6 万吨

资料来源：日月股份公告，宏德股份公告，信达证券研发中心

- 1) 日月重工：日月重工股份有限公司，是一家专业从事铸造研发、生产、销售、服务为一体的民营上市公司，始建于 1984 年，经过多次重组改制，建立了科学的机制和体制，以铸造大型及特大型重大装备铸件为主。截至 2021 年底，公司已拥有年产 40 万吨铸件的产能规模，最大重量 130 吨的大型球墨铸铁件铸造能力。
- 2) 永冠集团：永冠集团包括永祥铸造、陆霖铸造、东莞铸造等铸造公司，其 2020 年铸件产量达 21.01 万吨。

永祥铸造：成立于 2000 年，隶属于永冠集团(中国台湾上市公司，代码：1589，其在中国大陆地区有包括永祥铸造、陆霖铸造、东莞铸造等子公司)，主要经营废钢加工及生产

汽车模具、汽车部件,精密机床与大型空压机重要部件及高强度合金铸铁件与球墨铸铁件,并生产风力发电机组各类铸铁件及焊接件。

陆霖铸造:成立于 2002 年,隶属于永冠集团,主要产品以欧、美、日市场风力发电铸件、注塑机铸件、大型空压机铸件及产业机械铸件等为主,年最大产能 40,000 吨。

东莞铸造:成立于 1995 年,隶属于永冠集团,主要经营项目为注塑机机板及其零件、风力发电部件、精密机床部件、油压机部件、针织机部件等铸件。

- 3) 豪迈科技:公司主要从事子午线轮胎活络模具的生产及销售、大型零部件机械产品的铸造及精加工,其中:轮胎模具产品覆盖乘用车胎模具、载重胎模具、工程胎模具、巨型胎模具等,大型零部件机械产品以风电、燃气轮机等能源类产品零部件为主。公司依托强大的研发、铸造实力和机械加工能力,形成了铸造加工一体化的综合优势,有利于更好的满足客户需求、为客户提供便捷服务。据豪迈科技在投资者互动平台问答知,公司 2021 年铁铸件达 23 万吨,钢铸件产能 1 万吨。
- 4) 吉鑫科技:成立于 2004 年,主要产品为兆瓦级大型风力发电机组用轮毂、底座、轴及轴承座、梁等铸件,2021 年年产风电铸件 16.20 万吨,单体最大铸件 100 余吨的生产能力。
- 5) 佳力科技:成立于 1992 年,是一家着重于风电铸件制造的专业企业。公司主要产品为风力发电机轮毂、底座、主轴、机舱、扭力臂、齿轮箱体和行星支架等,风电设备铸件年产能能力达 3.5 万吨,能够生产单重在 35 吨以下的铸件。

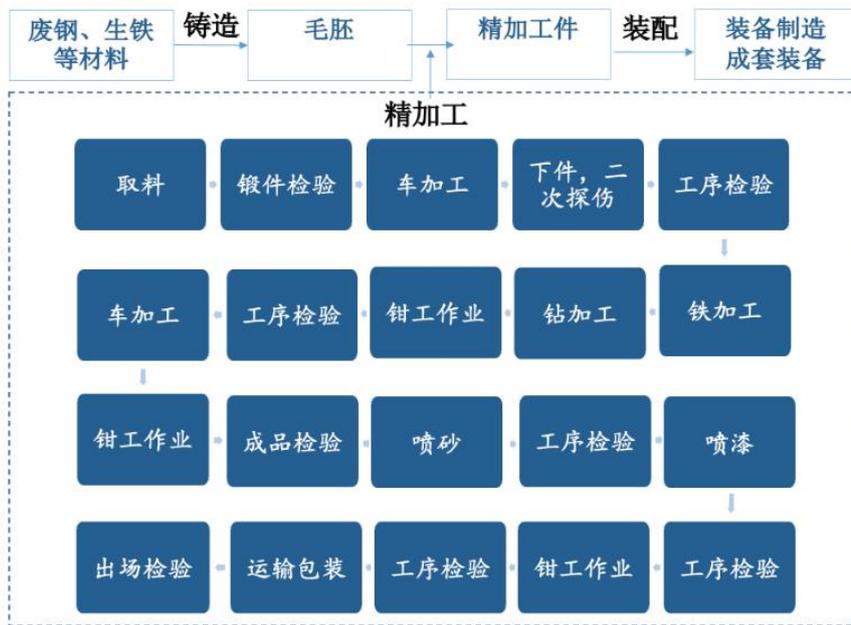
风电铸件行业进入壁垒较高,大型化趋势下技术要求提高

风发设备的工作环境和条件较为恶劣,对风电铸件的材质性能和产品质量均会有特殊要求。当前风电铸件已经形成造型、熔炼、浇注、热处理、机械加工、理化检测等配套工艺特色与技术经验,但从掌握生产工艺并形成批量稳定的生产能力需要较长时间,生产能力扩张同时还需要大量资金和专业工人,整体铸件市场技术和经验壁垒较高。

风电铸件下游需求变化相对较快,企业需要具有较强的自主创新能力,根据不断变化的市场和客户需求,快速开发出能适应市场、满足客户需求的新产品。同时还要具备成熟的产品技术管理能力和精细的现场管理水平,铸件生产对技术和生产经验积累的要求较高,各环节均需运用到长期积累的生产技术及经验。对于风电铸件企业来说,研发新技术、新工艺、不断开发高端产品等内容是铸件产业实现产业升级和提高自身竞争力的必然道路。

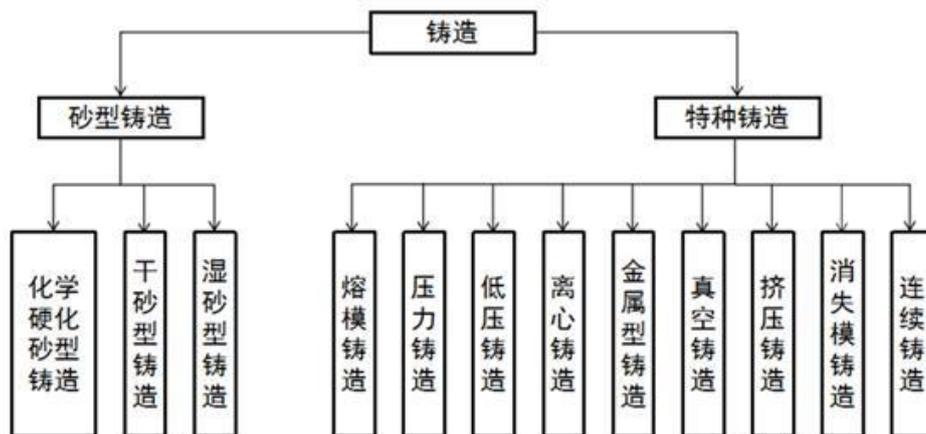
风电铸件企业与下游风电厂商建立合作关系耗时长,建立后会维持较稳定的合作关系。风电铸件市场壁垒相对较高,风力发电机组要求可靠使用寿命在 20 年以上,铸件下游风电厂商为保障自身供应体系的稳定性与品质,往往会建立自身独立严格的供应商评审机制,对于风电铸件企业会进行严格的考核,只有通过评审的供应商方能与其建立供货体系,被认定为合格供应商,双方之间才能建立长期稳定的合作关系。同时,风电铸件是定制产品,对某个规格型号的产品批量化生产前必须经过较长时间的试制生产和检测,一旦形成合作,则会在产品质量、交货期以及价格等方面形成长期的战略合作关系。

图 12: 风电铸件工艺流程



资料来源: 华经产业研究院, 信达证券研发中心

图 13: 铸造工艺分类



资料来源: 宏德股份招股说明书, 信达证券研发中心

因大型风力发电机地理环境、使用年限等原因, 风电机组对风电铸件性能要求更为苛刻, 企业以研发应用球墨铸铁厚大断面技术为战略方向。由于大型风力发电机大多是装在条件比较恶劣的峡谷、高原、海边, 加上一般风力发电机组的塔架高度都在 70~90 m, 大型风电零部件都有几十吨, 甚至上百吨, 吊装费用不菲, 因而, 风电铸件要适应温度变化大, 从 40 °C 到 -20 °C, 甚至 -40 °C 及以下, 需承受交变和冲击载荷以及潮湿和盐雾腐蚀等, 而高空和海上更换成本巨大, 要求有高可靠性, 必须保证陆上风电 20 年不更换, 海上风电 30 年不更换。目前市场上风电公司在研发技术方面, 多以厚大断面球墨铸铁

技术研发作为技术发展方向，以适应风机大型化及海风装机量大幅增长的趋势。

表 2: 主要公司大型球墨铸铁件及厚断面技术掌握情况

公司	铸件生产技术掌握情况
宏德股份	球墨铸铁的球化孕育处理技术，厚断面高性能铁素体球铁件的铸造技术等
日月股份	大型厚断面球墨铸铁件组织性能控制关键技术
吉鑫科技	稳定生产轮毂、轴承座、齿轮箱体、底座等多种风电球铁铸件

资料来源：相关公司公告，信达证券研发中心

以日月重工为例，在风电行业致力于大型化产品的研发，以球墨铸铁技术为基础，不断攻克“厚大断面”技术。同时为应对主要材料上涨对成本构成的压力，通过铸造材料优化，减轻铸件重量，优化产品设计，积极开发新材料工艺，新技术为公司降本增效提供技术支持，在 2021 年完成核电反燃料储运罐材质试验的基础上，做好首件交付产品质量稳定和提升，为商业应用产品做好技术提升和工艺固化工作，逐步具备量产供货能力。

表 3: 日月股份铸件核心技术

核心技术
高强球光体球墨铸铁风力发电行星架的低成本铸造技术
大型节能耐高压多油缸体铸件关键技术
100 万千瓦超临界汽轮机中压外缸铸件关键技术的研发与应用
大型厚断面球墨铸铁件组织性能控制关键技术

资料来源：日月股份公告，信达机械研发中心

厚大断面风电铸件与普通球墨铸铁件相比，属于高韧性球墨铸铁。球墨铸铁是通过球化和孕育处理得到的球状石墨，有效的提高了铸铁的机械性能，特别是提高了塑性和韧性，从而得到比碳钢还高的强度。而厚大断面球墨铸铁通常壁厚较大，壁厚大于 100 mm 的球墨铸铁件为厚大断面球墨铸铁件。与普通球墨铸铁相比，厚大断面球墨铸铁件在熔体成分、内在组织、外观质量、铸件性能等方面不易准确控制，故生产难度较大。厚大断面球墨铸铁件常作为关键基础件使用，铸件内在质量要求高，同时伴有外观、力学性能、金相组织、超声波探伤、磁粉探伤等检验要求，多不允许焊补。据《风电铸件的技术创新和质量控制》风电大型球墨铸件对材料性能有特殊的要求，与普通球墨铸铁件的性能要求相比，在性能、组织及本体要求上，均更为严格。

表 4: 普通球墨铸铁件与风电大型球墨铸铁件的性能要求比较

要求	项目	普通球墨铸件	风电大型球墨铸件
性能要求	抗拉强度	要求	要求
	伸长率	要求	要求
	低温冲击值	不要求	高要求
组织要求	球化率	>=70%	>=90%
	球光体体积分数	不要求	要求<5%~10%
	铁素体体积分数	不要求	要求>5%~10%
	试块	单铸 25mm 试块	附铸 70mm 试块
本体要求	超声波探伤	不要求	EN 12680 中 2~3 级
	磁粉探伤	不要求	EN 1369 要求
	焊补修理	允许	不允许

资料来源：《风电铸件的技术创新和质量控制》，信达机械研发中心

1) 风电轮毂铸件：风电轮毂铸件属于厚大断面铸件，尤其是主轴孔部位厚度甚至超过 200 mm，随着未来风电大型化发展，其关键铸件尺寸、重量越来越大。由于轮毂铸件轮廓尺寸大，壁厚不均匀，不能实现同时凝固，厚大部位、孤立热节区和铸件上凹

槽、尖角砂散热困难部位容易出现缩孔、缩松，不能满足超声波探伤要求。风电轮毂铸件有低温快浇和高温慢浇两种工艺方案。两种方案都有优缺点，都能浇注合格铸件，可据具体情况灵活使用。

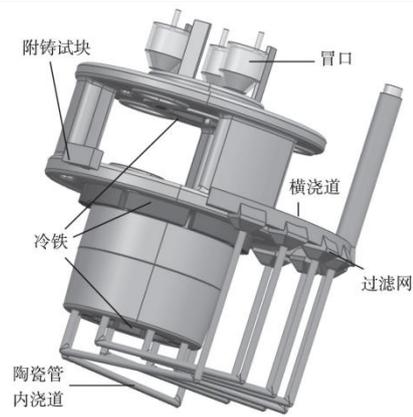
- 2) 风电齿轮箱部分铸件（主要包括齿轮箱箱体、扭力臂、行星架）：风电齿轮箱是风力发电机组中一个重要的机械部件，以行星架为例，行星架作为齿轮箱内的传动部件，将直接承受并传递巨大的动载荷和静载荷，作用十分关键。风电球墨铸铁行星架的材质为 EN-GJS-700-2U，关键壁厚 > 100 mm，属于厚大断面球墨铸铁件。

图 14: 5.0 MW 轮毂图示



资料来源:《风电轮毂铸件铸造工艺设计研究》,信达证券研发中心

图 15: 行星架铸造工艺示意图



资料来源:《风电轮毂铸件铸造工艺设计研究》,信达证券研发中心

厚大断面球铁应用广泛，国产企业随技术提升有望拓展更多市场

壁厚大于 100mm 的球墨铸铁件为厚大断面球墨铸铁件。近年来，随着矿山、电力、机床等行业装备大型化、重型化发展，厚大断面球铁铸件的需求量越来越大。厚大断面球墨铸铁件通常壁厚较大，热节部分或中心部位冷却速度缓慢，易出现石墨球畸变、球化衰退、元素偏析等缺陷，导致铸件力学性能下降。

与普通球墨铸铁相比，厚大断面球墨铸铁件在熔体成分、内在组织、外观质量、铸件性能等方面不易准确控制，故生产难度较大。厚大断面球墨铸铁件常作为关键基础件使用，铸件内在质量要求高，同时伴有外观、力学性能、金相组织、超声波探伤、磁粉探伤等检验要求，多不允许焊补。目前厚大断面球墨铸铁件的技术水平在很多领域已成为主机产品和高端装备发展的瓶颈。因此，厚大断面球墨铸铁件的制造能力往往被视为衡量铸造企业生产工艺水平和国家装备工业技术水平的重要指标之一。

厚大断面球铁件在生产控制方面有较高的技术难度。我国具备生产此类铸件条件的企业有很多，生产工艺千差万别，但能连续、稳定生产高质量的厚大断面球墨铸铁件的企业不多。厚大断面球墨铸铁件生产的关键措施主要集中于铸造工艺、成分设计、熔炼、球化及孕育处理等几个方面。

1) 铸造工艺: 为确保铸件质量、满足用户要求，铸造工艺制定要充分考虑工艺、操作、检验等相关因素，尽可能的缩短铸件凝固时间，保证厚大断面球墨铸铁件质量。在保证铸件质量、降低工人劳动强度、方便操作的原则下，确定工艺方案。借助 Procast、Magma 等数值模拟软件逐步优化工艺方案，精准控制铸件质量，尽可能缩短生产试制周期、降低研发成本。

2) 成分设计: 由于组织性能需要, 厚大断面球墨铸铁件中常会加入适量合金元素及微量元素。但厚大断面球墨铸铁主要元素有碳、硅、锰、硫、磷、镁、稀土等。碳当量: 铁液碳当量大于共晶点时, 组织中会析出初晶石墨, 产生石墨漂浮现象; 过低于共晶点时, 组织中易出现疏松缩孔。此外, 球墨铸铁的粥状凝固特点增加了疏松缩孔缺陷出现的倾向。故碳当量常选择在共晶点附近。

硅促进石墨化。硅可以提升球墨铸铁的抗拉强度及屈服强度, 但会降低其塑性指标。铁液的终硅量受生铁、回炉料、孕育剂等原辅材料的影响。原铁液硅含量过低, 成本增加; 原铁液硅含量过高, 降低孕育处理的调控范围。厚大断面球墨铸铁中过高的硅含量加大了碎块状石墨出现的机率。含硅量一般为 1.8~2.4%。适宜的含硅量应是在保证石墨析出的前提下取下限。

锰促进碳化物的形成。锰偏析于共晶团边界形成网状碳化物, 降低铸件的塑韧性。锰可以改善球墨铸铁的抗拉强度及屈服极限, 少量锰可以作为合金元素而发挥作用。通常铁素体球墨铸铁中, 锰含量控制在 0.3% 以下; 珠光体球墨铸铁中, 锰含量不宜超过 0.5%。

硫是反石墨球化元素。硫含量过高, 降低球化效果, 同时易出现夹渣; 硫含量过低, 不利于石墨形核。一般铁液中硫含量应小于 0.02%。磷是有害元素。在厚大断面球墨铸铁中, 磷有很强的偏析倾向。低熔点的磷共晶呈多角状分布于共晶团边界, 球墨铸铁的力学性能急剧降低。磷含量过高, 铸件易出现冷脆、缩松现象。在球墨铸铁生产中不易脱磷, 因此必须限制其含量。一般磷含量应不大于 0.06%。

镁是核心球化元素, 抗干扰元素能力差。镁含量过高, 易出现夹渣、缩松等缺陷。稀土有脱氧去硫、中和球化干扰元素的作用。残留稀土量过高, 石墨形态会恶化。通常残留镁控制在 0.04%~0.06%、残留稀土控制在 0.01%~0.03%。除了常规化学成分外, Bi、Sb 等微量元素在厚大断面球墨铸铁中的作用同样不可忽视。对于这些通常被视为干扰元素的成分, 由于稀土的中和作用, 在厚大断面球墨铸铁中其范围可适当放宽, 此类元素的复合作用可增加石墨球数、防止石墨畸变, 从而改善球化效果。

3) 熔炼: 厚大断面球墨铸铁件生产中的原料主要有生铁、废钢、回炉料、铁合金等。生铁的主要元素、微量元素、气体、石墨、夹杂物等, 以及废钢的气体、合金元素等进入铁液中常常表现出较强的遗传性。生铁的主要元素应符合“一高三低一少”的原则。一高即碳高, 有益于石墨化, 便于扩展废钢调配空间、提高铸件机械性能; 三低即锰、磷、硫低, 有利于改善铸件机械性能; 一少即硅少, 有利于增加球铁回炉料及孕育剂的使用量, 降低生产成本、增强孕育效果。

此外, 选用生铁时应严格控制杂质、微量元素的含量, 尤其是球化干扰元素的含量。废钢带入的气体有氮气、氧气和氢气等。氮促进碳化物和珠光体的形成, 降低球墨铸铁的屈服强度和韧性。氧附着在石墨晶体棱面, 降低棱面界面能, 不利于石墨球化。氢阻碍石墨化, 对球墨铸铁的力学性能亦有不利影响。球铁中固溶的氢会削弱石墨/基体界面及晶格面上原子间的结合力。在受到拉应力时, 前者促进微细裂纹的生成、后者加快裂纹的扩展。当固溶氢到达一定临界值或在特定环境中, 球铁会出现氢脆现象, 从而恶化力学性能。因此必须严格限制废钢带入铁液中的气体元素。

合金钢在废钢的占比日益增多, 其合金元素主要有铬、钛、钒等有害元素, 因此必须严格控制合金钢的使用, 应选择优质碳素钢、低硅钢。在保证铸件质量的前提下, 加入适当比例、成分相近的回炉料, 可降低生产成本。回炉料使用前要经过抛丸清理。常用的熔炼设备有冲天炉、中频炉等。冲天炉有可连续熔化、熔体冶金性能优异、白口倾向小、

成本低等优点，但也存在热效率低、元素烧损大、烟尘多、渣量大等缺点。当前冲天炉逐步向大型化、高效、节能、环保方向发展。

当前国内使用冲天炉的厂家有烟台冰轮、济南玫德、潍柴动力等企业。冲天炉与中频炉双联熔炼可以充分发挥两者的优势，在热效率和冶金效能等方面实现优势互补。当前国内采用双联熔炼的厂家有江苏吉鑫、宁波日月、沈阳铸锻等企业。受环保政策的影响，国内当前铸铁熔炼以中频炉为主。相对于冲天炉，中频炉熔炼有较多优点：操作可控；元素烧损少；合金成分准确；电磁搅拌作用良好，铁液的成分和温度均匀；熔炼效率高。部分企业使用高效、环保的复合脱硫剂进行炉外脱硫。实践表明利用工业纯碱脱硫、降硅、去气，铁液中的氧气、氮气、氢气的含量可分别降低到 15PPm、20PPm、2PPm 以下。

4) 球化、孕育处理：在厚大断面球墨铸铁件生产中，球化处理是关键，孕育处理是保证。常见的球化剂以镁和稀土为主。纯镁球化剂球化效果好，但不适用以国产生铁为原料的生产条件。稀土球化剂具有较强的净化铁水能力、球化能力。相对于轻稀土球化剂，重稀土球化剂有较强的抗衰老能力。单一球化剂存在不可弥补的缺点，实际生产中常使用以重稀土为主的复合球化剂。

常见的球化处理有冲入法、压力加镁法、转包法、盖包法、喂线法。与其它常规处理方法相比，喂线法有着良好的发展前景。喂线法主要有以下优点：脱硫脱氧效果好，热量损失小，放宽了对原铁液成分的要求；镁的收得率高、稳定，镁的残留量波动范围小；渣量少，渣碱度高；降低工人劳动强度，同时改善工作环境。

常见的孕育剂有 FeSi75 合金、硅钙孕育剂及 FeSi75 合金基础上调整的复合孕育剂。FeSi75 合金是当前应用最广泛的孕育剂。硅钙孕育剂适用于高温铁液，易生成夹渣。复合孕育剂的孕育效果是 FeSi75 合金的 2~5 倍，其白口倾向可降低 50%~90%，抗拉强度提升 20~80MPa。生产中通常多种孕育剂结合使用。常见的孕育处理方法有一次孕育和多次孕育。多次孕育包括浮硅孕育、倒包孕育、浇口杯孕育、随流孕育、型内孕育等。

多次孕育可增加石墨球数、缩短碳向石墨球扩散的距离、有利于减少元素的偏析，从而有效改善孕育效果。当前孕育处理的发展趋势是减少孕育量、减少孕育次数，孕育时间尽量短。孕育方法则应以最临近浇注为原则。厚大断面球墨铸铁件生产中适当增加孕育次数，使用长效孕育剂，可改善孕育效果。

厚大断面球墨铸铁应用领域较广，已经广泛地应用于矿山机械、电力、机床、动力、工程机械、装备等领域。国外发达国家在厚大断面球墨铸铁件的研制方面具有较高水平。当前，我国具备生产厚大断面球墨铸铁条件的企业有多家，主要有中国一重、中国二重、江苏吉鑫、宁波日月、宁夏共享、中信重工、永冠科技等。我国厚大断面球墨铸铁铸件技术已经较强，但与发达国家相比，在技术水平、人员素质、成本控制、管理实效等方面仍有一定差距，随本土企业厚大断面球铁技术的持续进步，有望在核心成长赛道如风电领域取得较快增长，同时也有望在其他大型装备领域实现工艺替代和国产替代，掌握核心技术能力的企业未来将具备较大的成长空间。

研究团队简介

刘卓，对外经济贸易大学金融学硕士，2017年加入信达证券研发中心，曾任农林牧渔行业研究员，现从事机械设备行业研究。

刘俊奇，上海交通大学动力工程硕士，2021年加入信达证券研发中心，现从事机械设备行业研究。

机构销售联系人

区域	姓名	手机	邮箱
全国销售总监	韩秋月	13911026534	hanqiyue@cindasc.com
华北区销售总监	陈明真	15601850398	chenmingzhen@cindasc.com
华北区销售副总监	阙嘉程	18506960410	quejiacheng@cindasc.com
华北区销售	祁丽媛	13051504933	qiliyuan@cindasc.com
华北区销售	陆禹舟	17687659919	luyuzhou@cindasc.com
华北区销售	魏冲	18340820155	weichong@cindasc.com
华北区销售	樊荣	15501091225	fanrong@cindasc.com
华北区销售	章嘉婕	13693249509	zhangjiajie@cindasc.com
华东区销售总监	杨兴	13718803208	yangxing@cindasc.com
华东区销售副总监	吴国	15800476582	wuguo@cindasc.com
华东区销售	国鹏程	15618358383	guopengcheng@cindasc.com
华东区销售	李若琳	13122616887	liruolin@cindasc.com
华东区销售	朱尧	18702173656	zhuyao@cindasc.com
华东区销售	戴剑箫	13524484975	daijianxiao@cindasc.com
华东区销售	方威	18721118359	fangwei@cindasc.com
华东区销售	俞晓	18717938223	yuxiao@cindasc.com
华东区销售	李贤哲	15026867872	lixianzhe@cindasc.com
华东区销售	孙僮	18610826885	sunrong@cindasc.com
华东区销售	贾力	15957705777	jjali@cindasc.com
华东区销售	石明杰	15261855608	shimingjie@cindasc.com
华南区销售总监	王留阳	13530830620	wangliuyang@cindasc.com
华南区销售副总监	陈晨	15986679987	chenchen3@cindasc.com
华南区销售副总监	王雨霏	17727821880	wangyufei@cindasc.com
华南区销售	刘韵	13620005606	liuyun@cindasc.com
华南区销售	胡洁颖	13794480158	hujieying@cindasc.com

分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明,本人具有证券投资咨询执业资格,并在中国证券业协会注册登记为证券分析师,以勤勉的职业态度,独立、客观地出具本报告;本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点;本人薪酬的任何组成部分不曾与,不与,也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

免责声明

信达证券股份有限公司(以下简称“信达证券”)具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品,为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考,双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户,并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通,对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制,但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断,本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动,涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期,或因使用不同假设和标准,采用不同观点和分析方法,致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告,对此信达证券可不发出特别通知。

在任何情况下,本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议,也没有考虑到客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况,若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考,并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下,信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易,并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意,任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告,则由该机构独自为此发送行为负责,信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权,私自转载或者转发本报告,所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数:沪深 300 指数 (以下简称基准); 时间段:报告发布之日起 6 个月内。	买入: 股价相对强于基准 20%以上;	看好: 行业指数超越基准;
	增持: 股价相对强于基准 5%~20%;	中性: 行业指数与基准基本持平;
	持有: 股价相对基准波动在±5%之间;	看淡: 行业指数弱于基准。
	卖出: 股价相对弱于基准 5%以下。	

风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能,也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售,投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估,并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求,必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下,信达证券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,投资者需自行承担风险。