

聚焦双碳目标实现，助力清洁能源发展

——天马轴承探索中国轴承工业“双碳”之路

浙江天马轴承集团有限公司董事长 马文奇

【摘要】 浙江天马轴承集团有限公司围绕“中国制造 2025”，自觉培育发展新能源产业，积极推动产业转型升级，助力我国“双碳”目标实现，同时打造清洁、科技型公司，为中国轴承工业探索“双碳”之路，引领轴承行业绿色发展。

【关键词】 清洁能源；双碳路线；绿色工厂；能碳平台；绿色设计

根据国际可再生能源机构的预测，如果全人类想达到 2050 年全球平均温度上升不超过 1.2 摄氏度的目标，从当下就要在各个国家以及各个行业开始积极的指定减少碳排放的目标，规划减排的行动计划。

我国自 2020 年 9 月，习近平总书记在第 75 届联合国大会一般性辩论上提出，中国力争在 2030 年前达到“碳达峰”、2060 年实现“碳中和”以来，发展绿色经济，建设绿色社会，逐步实现“碳中和”成为我国未来发展的重要议题。

两会通过的“十四五规划”及 2035 远景目标建议文件，从全国层面进行规划，提出“十四五”期间单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放分别降低 13.5%、18%，森林覆盖率提高到 24.1%的总目标。国务院发布《新能源汽车产业发展规划（2021-2035）》《新时代的中国能源发展》白皮书、《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》等文件，把绿色低碳作为能源发展的主导方向，以 2025 年和 2035 年为节点，逐步实现碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转的目标。生态环境部颁布《碳排放权交易管理办法（试行）》等文件，将全国碳排放权交易市场化，通过市场对碳排放量总量进行分配。工业和信息化部提出工业是碳排放的重要领域，能否率先

达峰，特别是重点行业能否提前达峰，将是我国兑现应对气候变化承诺的关键，要支持有条件的行业率先达峰。

为积极响应国家政策号召，浙江天马轴承集团有限公司围绕“中国制造2025”，坚持以提高绿色发展意识和生态（绿色）设计能力为核心，以推进生态（绿色）设计制度建设和技术进步为支撑，以提高清洁生产水平、产品开发和品牌影响为核心，自觉培育发展新能源产业，积极推动产业转型升级，力争发展为清洁、科技型公司，为中国轴承工业探索“双碳”之路，引领轴承工业绿色发展。

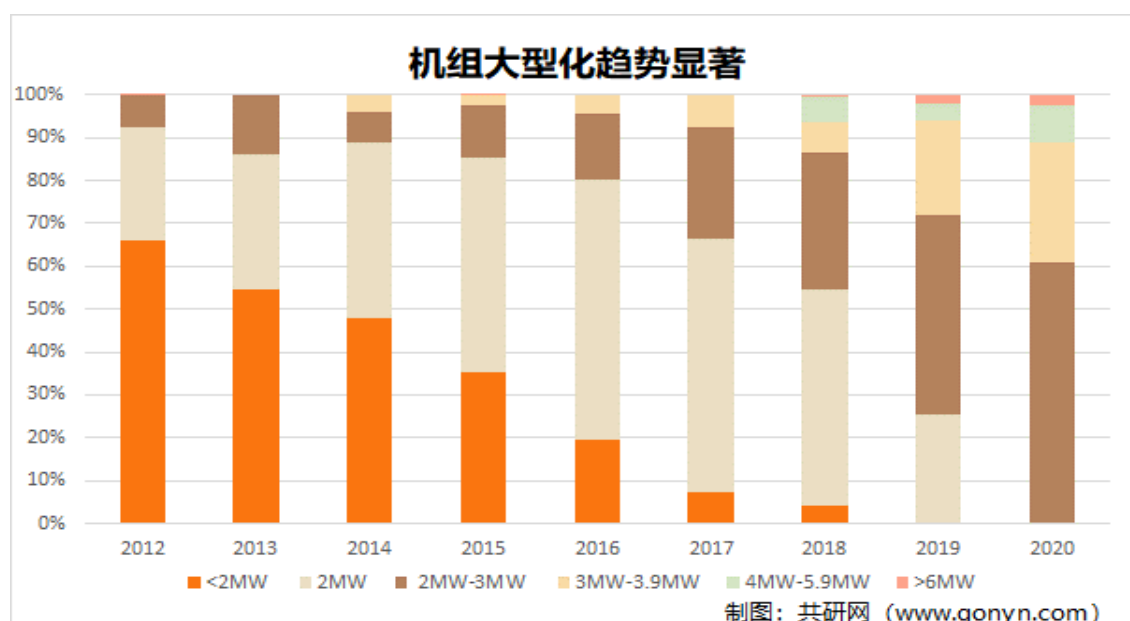
一、以清洁能源产品为主导，推广新能源领域应用

近年来，我国以风力发电、光伏发电为代表的新能源发展成效显著，装机规模稳居全球首位，发电量占比稳步提升，成本快速下降，已基本进入平价无补贴发展的新阶段。同时，我国坚持纯电驱动战略取向，新能源汽车产业发展取得了巨大成就，成为世界汽车产业发展转型的重要力量之一。由此可见，创新新能源开发利用模式、支持引导新能源产业健康有序发展、充分发挥新能源的生态环境保护效益，已成为今后几年我国为实现碳达峰、碳中和目标而采取的重要战略之一。核心配套产品如风电系列轴承、新能源汽车轴承实现全部国产化已经时不我待。为此，中国轴承工业企业有责任和义务参与其中，为风力发电、新能源汽车等绿色产业的发展作出应有的贡献。

1、风电轴承

2022-2026 年风电装机热潮仍将延续，随着中国黑龙江、内蒙古各省陆续出台“十四五”可再生能源发展规划，未来 5 年中国陆风和海风新增装机将达 244GW 和 47.3GW，海风迈入平价改革时代。全球沿海国家和地区海上资源丰富，发展潜力大，海上风电将是其能源产业的重点之一，是建设海洋强国的重要举措。

主机厂商正在加快风机大型化和海上风电规划。2020 年起中国机组基本皆为 2MW 以上机型，3MW 以上机组装机量占比提高至 37.9%。全球新增陆风机组平均功率达到 2.9MW，新增海风机组突破 6MW。预测 2026 年 8MW 以上机型占比达 45%。轴承（含主轴、偏航变桨、齿轮箱、发电机四类轴承）在风电机组中价值量占比约 10-15%，属于毛利率较高的环节。其中，由于齿轮箱轴承国产化率较低，价值量占比仍较高，国产价格比进口价格低 40%，随风电轴承国产化推进，轴承成本占比有望进一步下降。风机平价加快风电机组大型化，提高整体技术要求。



为应对风机大型化压力，海外轴承厂商正在加速并购和扩产能，研发适应大兆瓦风电机组的轴承工艺。浙江天马轴承集团有限公司生产的 TMB 风电轴承打破了多项国外技术壁垒，推进了大功率海上风电系列轴承的国产化进程，于 2019 年获制造业单项冠军。公司在高端轴承材料、高端轴承装备、核心制造技术研发方面不断创新，实现了多项技术突破，解决了多个卡脖子技术难关。公司依托产学研合作，组建专业队伍，引进真空加压电渣重熔炉等关键装备，不断攻克高性能轴承材料的卡脖子技术，成功研制出 5 个 TM

系列的长寿命、高纯净、高性能轴承新材料。其中，高氮不锈钢轴承钢填补了国内空白，达到国际同期水平，解决了国家第三代航空航天轴承材料的卡脖子和限制进口难题。研制的稀土轴承钢获工信部颁发的 2020 年度“绿色设计产品”。



公司目前已应标了 2022 年战略基础产品——大功率风电主轴轴承、齿轮箱轴承及风电发电机轴承开发与应用项目，正在全力实施该项目。其中 4.5 兆瓦风电增速箱轴承已在德力佳公司挂机，7 兆瓦风电主轴轴承已在金风科技挂机，西门子 8 兆瓦海上风电主轴轴承已经在丹麦通过了台架测试，增速箱轴承已与南高齿签订了战略合作协议，并给重齿、杭齿公司小批量供货。



2022 年 3 月，天马轴承投资 1 亿元与国外顶级供应商合作共建风电主轴轴承测试中心（含测试台架），其中 13 兆瓦级将于 2023 年初建成运行，25 兆瓦级预计 2025 年建成，将有力地提升我国轴承行业在该领域的技术水平，

实现大功率风电主轴轴承测试台架国内零的突破，抢占前沿科技技术制高点，为我国风电产业发展提供源头技术供给，最终实现我国风电产业关键部件的国产化。

2、新能源汽车轴承

近年来，世界主要汽车大国纷纷加强战略谋划、强化政策支持，跨国汽车企业加大研发投入、完善产业布局，新能源汽车已成为全球汽车产业转型发展的主要方向和促进世界经济持续增长的重要引擎。在我国，新能源汽车产业经历了萌芽期及初步探索期，2021 年产销突破 350 万辆，实现同比 1.6 倍的大幅增长，头部造车新势力品牌的 2021 年月均销量站稳万辆级水平，产业进入快速成长阶段。



2019 年 7 月-2022 年 5 月中国新能源汽车市场强势反弹

新能源汽车市场发展，给轴承企业带来了新的挑战和商机，传统汽车轴承行业面临重新洗牌。新能源汽车驱动电机是新能源汽车最为关键的部件之一，而作为驱动电机最为重要的轴承被列入重点突破的关键核心技术。目前国内新能源汽车电机轴承还主要依靠进口。

浙江天马轴承集团有限公司经过多年技术攻关，近年来推出了 TMB-Extra 系列新能源汽车轴承产品，包括驱动电机轴承、减速机轴承、转向器轴承等。采用自主研发的新材料、新技术，已验证其寿命是普通材料轴承寿命的 3 倍

以上，运行速度可以达到 21200rpm。TMB-Extra 系列产品已在新能源乘用车和商用车中得到验证使用。



TMB-Extra 系列新能源汽车轴承

浙江天马轴承集团有限公司于 2020 年新建了汽车轴承精密恒温洁净车间，对标世界顶尖的轴承制造商，引入尖端设备、全自动生产连线，实现了汽车轴承精密化、智能化、数字化、可追溯化生产管理制造。目前已拥有年产 400 万套 TMB-Extra 系列新能源汽车轴承产品生产能力。

此外，天马轴承还在人工智能领域，积极开发机器人关节轴承和伺服电机轴承。目前已突破了多项创新技术，为工业产品智能制造、减少碳排放提供了有力的保障。



新能源汽车轴承精密恒温洁净车间

二、以绿色工厂和能碳平台建设，实施“双碳”路线

轴承工业是一个国家的基础制造业，为几乎所有门类的重工业/交通运输/化工/电力等行业领域旋转设备提供可靠的产品。从能碳角度来讲，制造轴承的整个价值链都有大量的碳排放。

在“双碳”的背景下，实现“零排放”对于轴承工业是一个相当巨大的挑战，但并不是一个不可能完成的任务。针对不同的轴承产品，不同的生产

全球制造业到 2050 年可通过五种技术途径减少碳排放

Indicators 指标		Recent years	2050	Off / On track	轴承行业的适用度
RENEWABLES 可再生能源	Share of renewables in electricity generation 再生能源的发电比例	26%	90%		++
	Modern bioenergy consumption 生物能源的消耗	18 EJ	58 EJ		
ENERGY EFFICIENCY 能源效率	Investment needs for energy efficiency 对能源效率的投资	0.3 USD trillion/yr	1.5 USD trillion/yr		+++
ELECTRIFICATION 电气化	Passenger electric cars on the road 电气化	7 million/yr	147 million/yr		+
HYDROGEN 绿氢	Clean hydrogen production 绿氢的制备	0.8 Mt	614 Mt		++
CCS AND BECCS 碳捕捉	CCS and BECCS to abate emissions in industry 工业领域的碳捕捉	0.04 GtCO ₂ captured/yr	8.4 GtCO ₂ captured/yr		

布局和工艺规划，每个轴承企业都需要对自身的碳排放进行碳足迹的核算。

根据全球制造业到 2025 年可通过五种技术途径减少碳排放的预测，轴承工业分别在“再生能源的发电比例”、“对能源效率的投资”、“电气化”、“绿氢的制备”部分具有较大的适用度。

天马轴承一直致力于实现轴承的可靠运转，积极参与“双碳”的工作，并制定了天马的“双碳”路线图：

2030 年实现生产制造的零排放，2050 年实现全价值链的碳中和。

这是一个非常有挑战的目标，我们为此也制定了一系列的行动计划，通过技术创新和绿色工厂的建设，来实现这一宏大的愿景。

1、再生能源的利用

根据 2021 年全年数据结算，天马轴承成都基地年用电量为 3.4 亿度，浙江德清总部平均年用电量为 2.1 亿度。通过国家生态环境部于 2022 年发布的《企业温室气体排放核算方法与报告指南》，采用最新版的电网排放因子计算，两地厂区电力排放总计达 319550 吨，有巨大的碳排放优化与能源聚合价值。

轴承产业一般都是用电大户，目前的工业用电主要以煤电为主，属于高碳排放，因此风电和光伏就成为了轴承行业减少碳排放的重要工具，尤其是光伏发电，可以直接安装在厂区的屋顶，是目前最容易利用的再生能源。为优化天马园区绿色电力结构，天马德清基地于 2013 年建设 22MW 光伏电站，并于 2021 年底将规模扩大到 30MW，预计年发电量可达 2300 万度。同时天马规划在未来五年继续增加 24MW 的光伏电站，从而达到每年 4200 万度的光伏发电量。在保证分布式光伏消纳率的前提下，根据国家生态环境部发布的《2019 年度减排项目中国区域电网基准线排放因子》，该项目 2022 年并网发电减排量可达 15889 吨，到了 2027 年，仅仅光伏发电这一项，天马轴承就可以减排 29000 吨的碳排放。

2、提高轴承产品能效

轴承行业是一个具有 100 多年历史的传统行业，轴承发明的原因，也是为了提升机械的能效。而在这 100 多年里，从产品应用到工艺制造，这个行业不断创新，能源效率也在不断提升。产品能效在整个轴承生命周期里占据了 50%以上的能耗，目前大量终端用户都在要求轴承提升运转能效，因此轴承在材料/尺寸设计/保持架设计/密封设计/润滑方式等方面有了大量的突破。

想要做工艺与设备的能效优化，首先就要让工厂的能耗与碳排放完全透明，因此能碳平台成为了必不可少的企业数字化运营的平台之一。天马轴承目前拟定在浙江基地与成都基地共三个厂区配置数字化能碳管理平台系统，用于电源/天然气和水排放的监测系统能源数据采集、实时在线监测、分析及展示。通过使用“能碳平台”，基地能清楚地了解自身的能源使用现状、以及绿电使用占比。同时能碳管理系统要求能够实现整个园区能源监控并具备前端展示功能，可辅助实现碳排追踪，对区域内由于生产经营活动所产生的温室气体排放进行统计汇总，从而做到碳排放的精细化管理。平台通过数字化的方式，将传统电力系统管理模式向聚合系统中所有能源流的管理模式进行优化，帮助既定区域内的双碳能源体系转型，为管理者提供可参考的碳中和。



天马能碳平台建设

随着能碳平台的部署，各种技术创新也将应用于工厂的各种应用场景。天马德清基地使用最先进的技术推动 LED 照明节能，废水防治，绿化管理等基础降碳手段，持续不断地优化自身的用能质量，于 2019 年完成了绿色工厂的申报目标，于 2020 年完成了稀土钢绿色设计产品与绿色供应链的申报目标。成都基地为提高园区用能效益，对 6 台空压机节能改造，根据用气量大小智能化启停空压机，同等用气量的前提下，用气单位能耗至少降低 5%。目前节能项目已实施，将通过在中测院检定的流量计进行效益评估，并同步到能碳管理平台中。考虑到成都基地 70%电力来源为碳排放较低的水电，稳健地提高能源的运用效率则是当地低碳路径的重中之重。

三、强化产品绿色设计，实现轴承应用节能减排

轴承行业在产品绿色设计方面还有很大的潜力可挖。只有提升轴承产品的材料性能、热处理工艺，以及高转速、抗疲劳、低噪音等结构绿色设计，才能实现低能耗制造并有效减少轴承使用过程中的碳排放。天马轴承在产品

开发上进行了多种创新设计尝试，取得了有益的进展。例如：

1、新材料及其热处理工艺开发

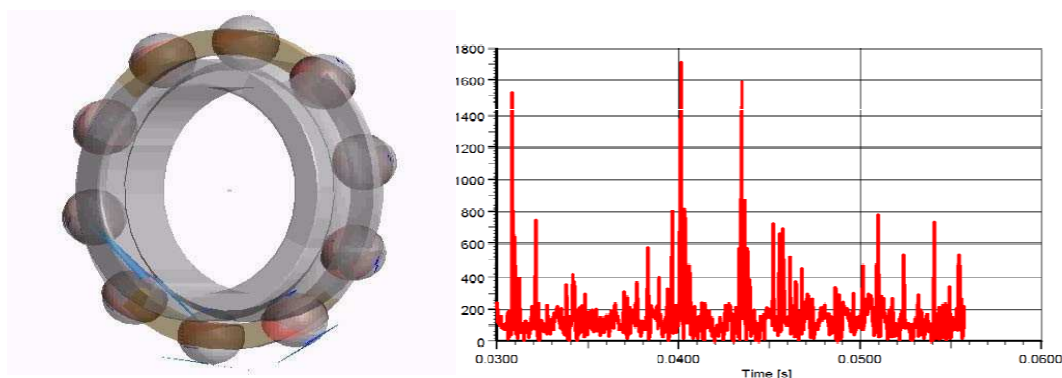
公司拥有轴承行业目前最先进的材料冶炼、电渣重熔等高尖端设备，解决了中国高端材料被“卡脖子”的问题。TMB-018 材料经 DH 特殊热处理后具有优越的耐磨性和抗咬合性、耐疲劳、耐高温、高转速等特性。与传统材料 GCr15 相比，加强型大承载设计使 TMB-018 的滚动接触疲劳寿命 P—N 曲线参数计算结果显著提高：

编号	斜率参数 b	额定寿命 $L_{10} \times 10^7$
GCr15	1.025431	0.725321
TMB-018	2.089675	2.28803

经 DH 特殊热处理的 TMB-018 材料 P—N 曲线参数对比

2、高转速轴承设计与加工

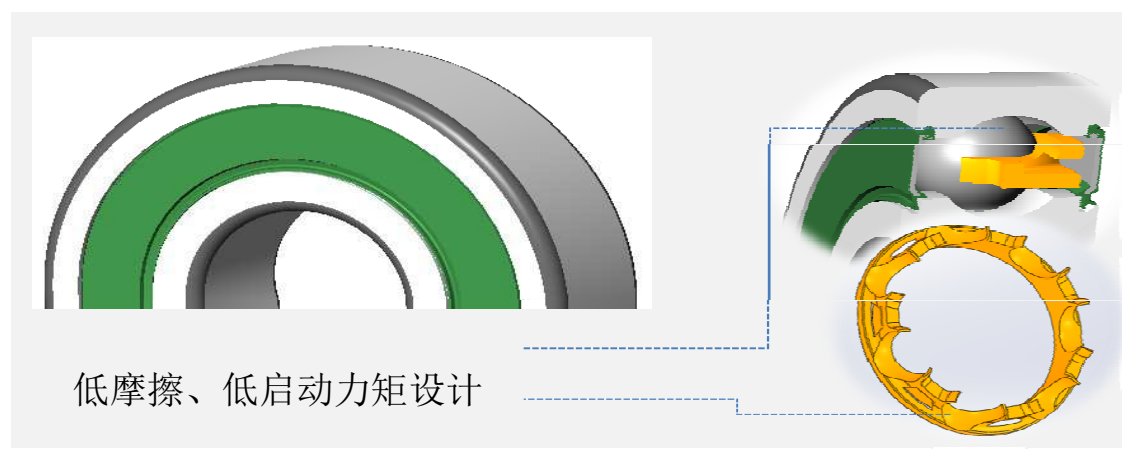
轴承采用新结构设计、新工艺技术加工，通过建立动力学静力学模型分析计算，优化轴承沟曲率、保持架结构等，最终实现高速化。经浙江机电产品质量检测所试验，TMB6308 轴承可达 21000 转/分钟以上。



采用新结构设计的高转速轴承极限转速模拟

3、低摩擦、低启动力矩设计

通过优化沟道曲率、沟道表面轮廓、密封结构形式、应用特殊润滑脂以及设计特殊镂空保持架结构最终实现高一致性的低能耗轴承。



4、低噪音设计

润滑脂优化：劳博抗 THERMOPLEX FLEVM L502；塑钢保持架采用：PA46+%30；
高精密制造技术开发：≥P5。

保持架类型	材质	噪音值（分贝值）
钢制保持架	SPCC	52
传统塑料保持架	PA66+%25	49
新型塑钢保持架	PA46+%30	45

采用新型塑钢保持架的噪音值对比

5、陶瓷球滚子设计

采用陶瓷球滚子能够突破滚动体大的离心力、提升高速性能；良好的绝缘性能防止轴电压产生电蚀；消除残磁问题，防止电极导磁影响轴承温升以

及灵活性；提高表面硬度，实现滚子的高耐磨性。

对比项	硬度HRC	电阻	密度	热涨系数	压碎强度
钢球	60~65	1	7800	12.6	1
SI3N4陶瓷球	82~88	1018	3250	3	0.5~0.7

陶瓷球与钢球性能对比

综上所述，天马轴承积极响应国家“3060”战略计划部署，为践行联合国可持续发展气候行动目标付出了努力。其进行的布局和工作，在低碳生产的赛道上踏出了扎实的一步，将为我国轴承工业的节能减排路径和效益向更多的排放场景推荐，起到积极的示范作用。