

“十四五”规划期间我国铸造行业发展浅析

柳建国, 赵刚, 王东生, 张志勇, 马宏儒, 高巍, 李化中, 吴仁贵

(中国铸造协会, 北京 100044)

摘要: 对我国《铸造行业“十四五”发展规划》进行解读和宣贯, 旨在帮助读者对《规划》内容理解。分析了“十三五”时期铸造行业所取得的成绩以及存在主要问题, 展望未来五年铸造发展趋势, 提出“十四五”时期铸造行业发展主要目标和任务, 明确指出亟待解决的铸造相关共性技术、关键铸件及关键装备等的研发与应用; 为进一步加快铸造行业迈上高质量发展的新阶段, 提出相关建议。《规划》将推动我国铸造行业全面纳入科学发展轨道, 对引领和推动行业发展发挥重要作用, 将助力高端装备制造业发展, 助推铸造强国目标早日实现。

关键词: 铸造行业; 创新; 智能; 绿色低碳; 高质量发展

“十三五”期间, 我国铸造行业取得了明显进步。企业规模和产业集中度提高, 铸件质量及能效稳步提升, 绿色铸造可持续发展理念不断强化。但是, 在关键核心铸件自给、特种工艺与配套装备等方面与国际先进水平仍然具有一定差距, 环保治理和安全生产仍相对薄弱。同时, “十四五”期间, 铸造行业迎来了新的发展机遇, 国家继续深化产业结构调整, 转变行业发展方式, 加快补齐产业发展短板, 提升铸造基础制造和协同创新能力, 完善自身产业链协同水平, 加速推进铸造行业向绿色、低碳、智能化方向发展, 加快迈上高质量发展的新阶段。

1 “十三五”规划期间我国铸造行业发展现状

1.1 行业规模平稳发展

1.1.1 铸件产量

铸造是装备制造业发展不可或缺的重要环节, 是众多主机和重大技术装备发展的重要支撑。受益于装备制造业对铸件市场的庞大需求, 2020年我国铸件总产量达5 195万t, 同比增长6.6%, 已连续21年位居世界首位, 2001—2020年来中国铸件产量及增长率变化如图1所示^[1-2]。

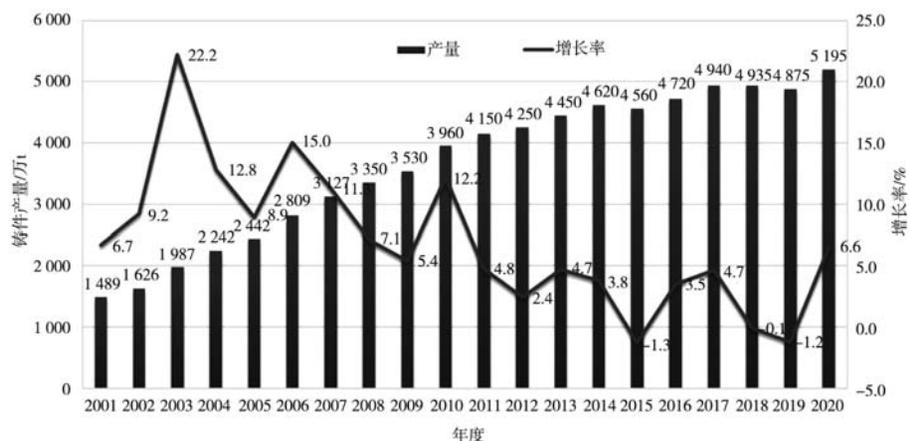


图1 2001-2020年中国铸件产量及增长率变化

Fig. 1 Change of casting production and growth rate in China from 2001 to 2020

作者简介:

柳建国(1976-), 男, 高级工程师, 主要从事铸造技术及节能减排方面的研究工作。E-mail: liuyang139@163.com

中图分类号: TG2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

08-0947-09

收稿日期:

2023-01-06 收到初稿,

2023-05-05 收到修订稿。

由图1可见,自2001年至2020年,我国铸件产量整体呈正增长态势;自2011年由“高速增长”转化为“中低速增长”;在此期间,2015年同比下降1.3%至谷底;2018年、2019年持续走低,2020年恢复正增长。其原因可归结为:

(1)自2008年美国爆发的金融危机及随后的欧债危机,2018年以来美国为首的国际贸易摩擦,以及2020年全球爆发的新冠疫情等势必影响了全球经济发展,我国的经济增长也不能独善其中。

(2)“十三五”中后期,随着世界产业分工变化以及下游行业对铸件需求增速放缓,铸造市场竞争加剧;随着可持续发展理念的深化,国家对工业污染防治不断强化,部分企业由于环保安全等因素被淘汰。

(3)铸造企业数量明显减少,企业平均规模有较大提高,产业集中度明显提高;一大批企业向质量效

益型转变,实施智能化、绿色化发展,整体水平处于国际领先,成为国内铸造行业的领头军。

1.1.2 主要行业铸件需求

在疫情管控常态化和复工复产加快恢复经济秩序的同时,国家陆续出台了如减费降税等多项惠企政策。2020年底,我国部分经济指标已经恢复到疫情前的水平,机械工业也得到快速恢复。受下游主机行业的带动,铸造行业发展也跑赢大势,主要行业对铸件需求见表1。

从表1可以看出,汽车工业是铸件最大需求用户,2020年汽车铸件占比为28.9%,由于商用车的拉动作用,铸件产量较2019年增长5.6%;发电设备及电力行业和通用机械及新兴产业等市场占比提升较大,铸件占比上升。

表1 2019与2020年我国各主要行业铸件需求
Table 1 Main industry casting demand in 2019 and 2020

万t

| 项目 | 主要行业 | | | | | | | | | | 合计 |
|-----------|-------|--------|------|------|------|------|---------|------|-----|------|-------|
| | 汽车 | 内燃机及农机 | 冶矿重机 | 铸管管件 | 工程机械 | 机床工具 | 发电设备及电力 | 轨道交通 | 船舶 | 其他 | |
| 2019年 | 1 420 | 515 | 460 | 830 | 440 | 225 | 210 | 220 | 35 | 520 | 4 875 |
| 2020年 | 1 500 | 540 | 470 | 853 | 490 | 227 | 250 | 220 | 35 | 610 | 5 195 |
| 2020年占比/% | 28.9 | 10.4 | 9.0 | 16.4 | 9.4 | 4.4 | 4.8 | 4.2 | 0.7 | 11.7 | 100 |

(1)2020年,汽车产销同比下降2.0%和1.9%,其中乘用车年度产销同比下降较大,降幅达到6.5%和6%;受国Ⅲ汽车的淘汰、治理超载加严以及基建投资等因素的拉动,商用车全年产销量呈现大幅增长,成为2020年车市恢复的重要动力;受商用车大幅增长的拉动,2020年汽车铸件产量增长5.6%。

(2)由于2020年大中型拖拉机等农机及商用车、工程机械的增长,农机和内燃机铸件产量增长4.9%;工程机械继续保持近年来强劲的增长势头,铸件增长11.4%;发电设备铸件(主要集中在风力发电设备)增长19.1%。

(3)矿冶重机铸件、机床工具铸件和铸管及管件保持一定幅度的正增长,分别为2.2%、0.9%和2.8%;轨道交通和船舶保持平稳,2020年通用机械产品和战略新兴产业铸件(如机器人等)增长较为强劲,也带

动了铸件的增长。

1.1.3 铸件材质

2019与2020年各类材质铸件占比情况见表2。

从表2看,铸钢件产量保持增长,2020年占比上升至12.2%(2018年为11.7%;2019年为12.1%);铝(镁)合金铸件产量占比下降至13.1%(2018年为14.5%;2019年为14.1%);球墨铸铁件产量上升为29.5%(2018年为27.7%;2019年为28.6%)。

(1)受内燃机、农机、风电铸件和铸管及管件增加等的叠加影响,球墨铸铁(包括蠕墨铸铁)产量由2019年1 395万t增长至2020年1 530万t,增长9.7%,产量占比29.5%。

(2)2020年矿冶重机、工程机械和发电设备等行业增长,铸钢件产量增至635万t,产量占比12.2%。

表2 2019与2020年各类材质铸件占比
Table 2 The proportion of castings of various materials in 2019 and 2020

万t

| 项目 | 铸件材质 | | | | | | | 合计 |
|-----------|-------|-------|------|------|------|-----|-----|-------|
| | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铸钢 | 铝镁合金 | 铜合金 | 其他 | |
| 2019年 | 2 040 | 1 395 | 60 | 590 | 685 | 80 | 25 | 4 875 |
| 2020年 | 2 175 | 1 530 | 63 | 635 | 680 | 87 | 25 | 5 195 |
| 2020年占比/% | 41.9 | 29.5 | 1.2 | 12.2 | 13.1 | 1.7 | 0.5 | 100 |

(3) 2020年新能源汽车、5G和摩托车带动了铝合金的增长,但受乘用车产量下滑、铝制车轮出口大幅下降的叠加影响,2020年铝(镁)合金铸件下降,产量680万t,产量占比下降至13.1%。

1.2 我国铸造行业存在的主要问题

近年来我国铸造行业取得了显著的发展。但是,仍然存在一些亟需解决的问题。

(1) 企业发展水平失衡,影响行业整体健康发展。在激烈的市场竞争和安全环保要求下,部分生产工艺装备落后、环保治理不完善的铸造企业逐步退出。尽管目前企业数量有较大幅度减少,现有2万多家铸造工厂,数量仍然偏多,企业平均规模偏小,企业间发展水平严重失衡,且仍有一批企业在工艺装备、产品质量及环保治理水平方面相对落后,平均劳动生产率与工业发达国家仍有一定差距。大多数批量铸件生产企业应走规模化生产模式,企业规模过小,不利于采用更为高效智能的生产装备,不利于提高劳动生产率,难以进行集约式生产以实现更高的规模效益,与此同时,企业的安全环保综合治理难度也较大。除此之外,企业数量偏多,也往往会在一些领域出现低价、低质量的恶性竞争,扰乱市场竞争秩序,不利于产业整体健康发展。

(2) 行业自主创新能力不强,公共技术服务体系不健全。长期以来,装备制造业发展存在的“重主机轻零部件”和“重冷轻热”的问题仍然比较突出,铸造在制造业产业链的重要程度仍被认识不足;多数主机行业长期采用低成本采购策略,高品质铸件在产业链上难以形成优质优价,铸造行业整体利润偏低,使得铸造企业的研发投入严重不足。行业创新需要铸造产业链中的基础材料、关键工艺和重大装备协同创新,与铸造相关材料和设备企业的研发投入也明显不足。目前行业研发机构较少,关键共性技术研究弱化,科研机构研究成果市场转化率低,产学研用相结合的协同技术创新体系作用不明显,行业内公共技术服务支撑严重不足。

(3) 行业发展模式仍相对粗放。“十三五”期间,骨干企业具有了较高的精益化管理水平,在发展方向上也更加注重向质量和效益型转变,但我国企业数量众多、发展不平衡问题仍然突出。在激烈的市场竞争环境下,企业更多关注发展的规模和速度,偏重于以低价获得更多的市场订单,在研发投入方面重视不够,行业整体信息化建设滞后,精益管理水平不高,产品综合废品率偏高,节能减排和污染治理仍有很大提升空间。铸造产业集群(园区)的发展更多侧重重新项目引进和区域规模总量增加,在产业链协同、

特色企业培育、产品差异化发展和公共平台建设等方面的规划和建设不足。

(4) 部分关键铸件不能满足主机要求。我国绝大多数领域关键铸件已实现自主化制造,但尚有少数关键铸件(如重型燃气轮机热端部件与燃烧室喷嘴室部位超大型单晶铸造动叶片和静叶片、核乏燃料储运罐、高铁铸钢制动盘、航空发动机叶片等)不能完全满足主机和重大技术装备的要求;同时,很多关键铸件(如高压大流量液压铸件、汽车发动机关键铸件、超大型舰船用的中低速柴油机的灰铸铁缸套等)在产品性能一致性和质量稳定性方面仍需进一步提升。

(5) 环保治理和安全生产仍相对薄弱。行业面临的环保问题是一个长期积累的过程,适用于铸造企业的国家环保标准长期缺失和相关环保标准严重滞后是行业环保治理水平不高的主要原因。“十三五”期间,铸造企业环保治理投入大幅增加,但因为没有统一排放标准可循,很多企业环保治理并不科学,重复治理现象突出,行业环保治理任务仍十分艰巨。行业企业数量众多,安全生产意识和水平参差不齐,部分企业安全生产预防能力不强、安全风险辨识不到位、安全生产设施投入不足,行业整体安全生产管理水平仍需进一步提升。

(6) 从业人员短缺仍是发展中的突出问题。自20世纪90年代中期始,教育部学科目录将原来的铸造、锻压和焊接合并为材料成型及控制工程专业,高等院校学生在校期间对铸造专业知识学习不够系统,毕业后进入工厂实用性不强,而工作后的继续教育途径也不通畅;现阶段,我国设立材料成型及控制工程专业铸造方向的职业院校数量极少,无法满足铸造行业发展对技能人才的需求;与此同时,铸造企业就业吸引力相对较弱。多重作用下,目前行业各领域不同层次从业人员短缺仍是行业发展中的突出问题。

2 “十四五”铸造行业发展趋势

(1) 国内外市场竞争进一步加剧。铸件市场取决于主机行业需求以及参与国际市场的份额。汽车工业是铸件最大需求用户,国内乘用车、商用车、新能源汽车以及轻量化发展趋势对铸件需求影响非常大,从各主机行业的需求来看,未来对铸件的需求相对平稳。国际出口市场对于中国铸造发展规模同样举足轻重,当前全球制造业增长疲软,欧美“再工业化”实施吸引中高端制造业回流,贸易摩擦带来关税增加,提高了企业出口成本,发展中国家参与全球产业再分工承接制造产业转移加快,制造成本、贸易政策、环境容量等综合因素正在影响全球制造业产业链布局。

(2) 铸件材质结构加速优化调整。“十四五”

期间,我国铸造行业的总产量仍将保持持续平稳的增长,为了适应主机市场的需求,我国铸件材质结构将继续发生调整优化。高性能的球(蠕)墨铸铁材质的铸件占比将稳步上升;同时,在汽车轻量化、5G通讯基站快速建设的背景下,有色合金铸件将逐渐代替部分黑色铸件,铝(镁)合金压铸件占比也会逐年上升。

(3) 两化融合及智能制造将加速助推产业转型升级。在国家发展数字化经济、加快实施工业和信息化深度融合的背景下,加速推进新一代信息技术与传统铸造行业的深度融合已经成为发展趋势,通过两化融合可以促进企业提高效率、提升管理水平和转型升级发展。另外,人力成本逐年上升、招工难是企业面临的压力,成本上升造成市场竞争力下降,铸造行业亟需通过关键工序自动化、关键岗位机器人替代、生产过程管理的智能优化控制,实现降低成本、提升产品质量、提高生产效率和降低作业强度的目标,让铸造业在产业链中更具竞争力。

(4) 安全环保治理水平将持续大幅提升。铸造作为热加工制造工艺,生产工艺流程长、工艺装备和物流设施复杂众多,且存在高温作业、安全生产影响因素多等特点;全行业牢固树立起了安全生产的发展理念,企业主动作为,推动新工艺和新技术广泛应用,在安全生产相关法律法规和技术支撑下,安全生产的整体水平会有更大的提升。

尽管铸造企业环保治理水平普遍有了明显提升,但距离适应国家新的环保要求还有不小差距。目前铸造企业被纳入“一证式”排污许可监管范围,适用铸造企业的大气污染物排放标准指标更严、覆盖范围更宽,无组织排放全面纳入标准的控制要求,国家对生态环境重点区域制定了更为严格的管控要求,环保排放水平监测要求更高,各级环保部门对企业的环保监管更全面、更系统^[3]。“十四五”期间,铸造行业将深入开展工业污染治理,企业的环境管理水平将会进一步提高,铸造企业也将在环保压力下加速分化,行业内将涌现更多的绿色铸造企业,同时也将有相当数量的企业无法适应新的环保要求加速淘汰;铸造产业集群(园区)环保综合整治加速推进,集群(园区)建设将更加规范和有序。

3 “十四五”我国铸造行业主要发展目标和任务

3.1 主要发展目标^[4-5]

(1) 铸件材质结构优化。预计到2025年,球(蠕)墨铸铁件产量占铸铁件总产量的比例将达到47%

以上,蠕墨铸铁及各种特殊用途的高端球墨铸铁、等温淬火球墨铸铁(ADI、CADI)在相关领域得到进一步扩大应用;铝(镁)等轻合金铸件产量占铸件总产量的比例达到18%以上。

(2) 产品质量提升。耐高温合金叶片、超大型单晶铸造叶片、舰船用超大型大功率中低速柴油机关键部件、大功率海上风电铸件、核乏燃料储运罐、高端液压铸件等关键铸件制造能力进一步提升,关键铸件自主化制造达98%以上,基本满足主机行业和重大技术装备的需求。推进并实施精益化管理,制定不同铸造工艺生产过程关键工艺参数检测以及生产全流程质量能力评价标准,进一步提高铸件的可靠性、性能一致性和质量稳定性。

(3) 加快创新发展。铸件、铸造材料和铸造装备企业及产业链协同创新能力得到进一步提升,先进铸造材料、先进工艺和关键装备能够实现有效突破,快速成形等创新技术与传统铸造进一步深度融合。

(4) 绿色低碳发展。通过铸造工业大气污染物排放标准及相关法律法规的实施,行业整体环保治理水平有大幅度提升,“十四五”期间行业颗粒物污染排放量较“十三五”减少50%以上。大力推进节能减排绿色铸造技术研发及推广应用,吨铸件综合能耗显著降低,行业绿色铸造发展水平持续提升,助力碳达峰、碳中和目标达成。

(5) 加快智能制造。加快行业信息化建设步伐,形成适用典型铸造工艺和不同产品的智能制造成熟模式,制订智能铸造及成熟度评价系列标准,通过典型数字化车间/智能工厂示范建设,引领行业智能制造快速发展。

(6) 产业集中度提升。通过市场竞争,优胜劣汰,在安全、环保等强制法律法规要求及相关政策的引导下,到2025年,铸造企业数量较十三五末期预计下降20%,形成一批具有示范效应的产业集群(园区),实现产业集中度和聚集度的进一步提高。

3.2 主要发展任务

3.2.1 攻克装备制造业所需关键铸件的自主化制造

随着主机和重大技术装备的发展,对一些关键铸件提出了更高的质量要求。“十四五”期间,铸造行业需要重点攻克一批影响高端装备制造业发展瓶颈的关键铸件自主化制造(表3),同时要提高关键铸件产品的性能一致性和质量稳定性^[6]。

3.2.2 强化关键共性铸造技术研究与应用

加强对高性能铸件材质、先进铸造原辅材料、关键生产技术、先进铸造工艺、质量检测及修复和热处理

表3 关键铸件
Table 3 Key castings

| 序号 | 分类 | 具体关键铸件 |
|----|-----------------|---|
| 1 | 汽车铸件 | 汽车结构件：采用高压/低压/半固态/挤压等工艺成形的各类汽车轻合金结构铸件，车身多个部件一体化铸造等；新能源汽车压铸关键铸件：电机壳、电池壳体组件、逆变器（控制器）壳体等；底盘铸件：乘用车灰铸铁/球墨铸铁制动盘，铝基复合材料制动盘等；重卡车用蠕墨铸铁制动毂、复合材料制动毂/轮毂；商用车大型制动盘；汽车底盘ADI上下控制臂、支架铸件等；发动机铸件：灰铸铁高强度缸盖，蠕墨铸铁缸体、缸盖，ADI齿轮和曲轴，耐高温排气歧管、涡轮增压器壳体；高压铸造铝合金发动机缸体、重卡变速器壳体等 |
| 2 | 能源动力及输变电装备铸件 | 核电设备：1 000 MW以上核电设备主泵泵体等超大型不锈钢铸件；百吨级超大断面（≥500 mm）球墨铸铁核乏燃料储运容器铸件等；风电设备：12 MW及以上海装风电机组轮毂、底座、齿轮箱壳体、行星架系列铸件；火电设备：耐高温620℃以上的超超临界、二次再热超超临界汽轮机关键部件高压进汽缸、排气缸、高中压阀体、内缸等高合金耐热钢铸件；水电设备：百万千瓦级水轮机转轮上冠、下环和叶片等超低碳不锈钢材质铸件；重型燃气轮机：50 MW以上重型燃气轮机耐高温热部件如导流体、轮毂、内外缸体、耐高温单晶铸造叶片、燃烧喷嘴耐高温合金部件等；输变电设备：高压、超高压输变电工程用大型铝合金壳体铸件 |
| 3 | 矿冶重机、石化铸件 | 特种大型复合冶金轧辊；大型锻压机械的机座、十字架、横梁、机架等铸钢件；大型连轧钢机架、轴承座等关键铸件；大型金属破碎机筛条、大型半自磨机衬板等耐受冲击磨损铸钢件；单重100 t及以上的矿山、冶金、石油、化工等设备用铸件；400 t以上特大型合金钢铸锭 |
| 4 | 轨道交通铸件 | 高速列车铸钢制动盘；大型复杂铝合金齿轮箱等关键铸件；抗低温高韧性齿轮箱壳体等球墨铸铁件等 |
| 5 | 航空航天、船舶、兵器等军工铸件 | 航空航天、军工行业所需钛合金、高温合金、镁合金、铝合金复杂铸件，如大推力航空发动机用高温合金定向凝固柱晶/单晶涡轮叶片、大型钛合金机匣等；大型船用柴油机机体、缸盖、曲轴铸件，船用螺旋桨等关键铸件；坦克变速箱壳体等 |
| 6 | 其他领域关键铸件 | 蠕墨铸铁件；等温淬火热球铁（ADI/CADI）铸件；-50℃及以下低温高韧性球墨铸铁件，固溶强化铁素体球墨铸铁件，高强度高韧性球墨铸铁件；高强度、高韧性铝（镁）合金铸件等；耐磨、耐热、耐蚀铸件；高压、大流量、高精度液压铸件；高压阀门铸件；高档数控机床用高精度及高精度保持性机床铸件；大型长寿命陶瓷复合铸造磨辊、磨盘铸件；海洋工程装备耐蚀的铸造双相不锈钢铸件、超级奥氏体不锈钢铸件、耐腐蚀的高铬镍球墨铸铁件；特大口径（DN≥2 800 mm及以上）球墨铸铁管及顶管；适应超限高层建筑柔性接口球墨铸铁雨水管、管件及配套产品 |

理技术的研发与攻关，提升复杂关键铸件生产制造能力，开展对节能减排及资源再生循环利用、智能制造的研究与应用，推动行业智能与绿色发展^[7]。铸造行业需要在众多领域开展共性技术的研究与应用（表4）。

3.2.3 提升关键铸造装备制造水平

“十三五”规划期间，通过技术引进、消化吸收、自主创新及国外并购等措施，我国铸造装备制造水平得到显著提升，基本可以满足国内铸造行业发展的需要，但尚有部分领域与国际知名品牌制造商存在一定差距，需要在大型设备、关键设备、快速制造及机器人智能制造设备上实现自主化制造，在设备效率、精度与稳定性方面取得突破并引领世界。“十四五”期间，我国铸造行业需重点发展一批高端铸造装备（表5），并加快其在行业中的应用。

3.2.4 加强铸造工艺数值模拟仿真技术研究与应用

我国已经建立了覆盖主要铸造方法、主要铸件材

质，相对完善的铸造过程模拟仿真研究体系，国产铸造数值模拟软件也逐渐从充型凝固过程扩展到生产全流程的模拟仿真，并在实际生产中发挥了越来越重要的作用。铸造数值模拟要加强全流程、多尺度、多相以及铸造工艺/组织/缺陷/性能的模拟仿真与耦合模拟的基础研究，“十四五”时期，我国铸造工艺数值模拟仿真重点发展方向包括以下几个方面。铸造过程宏/介/微观多尺度与气/液/固多相耦合数值模拟方法；复杂铸件工艺/组织/力学或使用性能的耦合数值模拟方法；高精度、高效的铸造缺陷定量化预测方法；铸造熔炼/型芯成形/浇注凝固/热处理工序全流程数值模拟及工艺优化技术；基于数值模拟的智能化铸造工艺优化设计技术；基于云计算的网络化模拟仿真技术；先进的数值模拟物理实验验证系统；建立与完善数值模拟用铸造原辅材料热物性参数数据库；铸造模具制造企业数值模拟软件的普及应用；基于数值模拟技术的智能化铸造数字平台的普及应用。

表4 关键共性铸造技术
Table 4 Key generic casting technology

| 序号 | 分类 | 内容 |
|----|---------------|--|
| 1 | 高性能铸件材料技术 | 铸铁: 高强度高韧性球墨铸铁, 固溶强化铁素体球墨铸铁, 低温高强度高韧性铁素体球墨铸铁, 等温淬火球墨铸铁(ADI/CADI), 合金蠕墨铸铁, 高强度高弹性模量低应力灰铸铁, 高性能合成铸铁等; 铸钢: 沉淀强化马氏体不锈钢(耐热), 双相不锈钢(耐蚀性), 高合金耐热钢, 超低温用铸钢, 低温高强度用铸钢, 超级合金母料等; 有色合金: 高强度高韧性铝合金和镁合金系列材料, 高强耐热镁合金, 高强高韧耐热钛合金; 铸造金属基复合材料: 碳纤维、陶瓷纤维等铝基复合材料, 超轻铸造镁锂合金材料, 其他高性能镁基、铜基、钛基复合材料; 耐磨材料: 高硬高韧耐磨材料, 高耐磨耐蚀性的合金材料, 低成本耐磨材料, 陶瓷/钢铁基耐磨复合材料, 高性能贝氏体钢; 铸造不锈钢丸, 铸造锌丸等金属磨料 |
| 2 | 先进铸造原辅材料 | 铸造用生铁: 铸造用高纯生铁、超高纯生铁; 金属熔炼辅料: 铸铁生产用特种球化剂、蠕化剂、孕育剂, 铝合金熔炼高效环保精炼剂; 砂型铸造材料: 环保型有机粘剂、无机粘剂、水基涂料、低碳/无碳粘土湿型砂等少无污染的绿色砂型铸造原辅材料, 功能型铸造用树脂, 铸造用高硅砂, 铸造用熔融/烧结陶瓷砂等铸造原辅材料; 熔模精密铸造材料: 快干型硅溶胶, 高品质锆英砂等耐火材料, 高品质填充蜡, 无硬脂酸低温模料, 特种涂料添加剂, 陶瓷型芯, 电熔石英等; 消失模/V法铸造材料: 专用珠粒, 专用涂料; 铸造用增材制造材料: 快速铸造工艺相适应的造型材料[光固化成形(SLA)光敏树脂等材料、选区激光烧结(SLS)成形系列粉末材料、砂型喷墨打印(3DP)专用铸造用砂等], 砂型喷墨打印(3DP)专用粘剂/固化剂, 熔融沉积(FDM)快速铸造的制模系列材料等; 其他: 适合压铸的可溶性型芯材料, 环保型发热保温冒口和高发热冒口、过滤器等 |
| 3 | 关键生产技术 | 超大断面(≥ 500 mm)球墨铸铁件生产技术; 蠕化处理稳定控制技术; 铸态下高强高韧球墨铸铁件生产技术, 耐低温球墨铸铁件生产技术; 百吨级以上大型合金钢铸件的纯净、致密、均质铸造技术; 高温合金定向凝固及单晶铸件的铸造技术; 铸造复合金属材料的生产技术; 铸造用高纯生铁、超高纯生铁生产控制技术; 熔模铸造用复杂陶瓷型芯成形/脱除工艺技术; 铸造合金高效、环保精炼和变质处理技术; 大型复杂精密铝、镁、钛等合金铸件的铸造技术; 复杂型芯系统的高效、高精度制备和除芯清理技术; 智能化多功能热分析法在铸铁熔体质量控制方面的技术 |
| 4 | 先进铸造工艺 | 高真空压铸技术; 挤压铸造技术; 差压铸造技术; 半固态浆料制备及半固态高压铸造技术; 精密组芯造型技术; 消失模铸造工艺生产铝镁合金铸件技术; 采用垂直造型线生产铝镁合金铸件技术; 大型曲面等异形件电渣熔铸成形技术; 高炉—感应电炉“短流程”熔炼工艺生产技术; 快速铸造成形技术: ①应用于熔模铸造快速成形技术【选区激光烧结(SLS)、光固化(SLA)、熔融沉积(FDM)】; ②铸造砂型或壳型快速成形技术【砂型喷墨打印(3DP)、选区激光烧结(SLS)、砂型无模数控切削、砂型切削与砂型喷墨打印(3DP)一体化成形技术】; ③增材制造陶瓷型芯制造技术; ④铸造+快速成形复合铸造成形技术; ⑤快速成形大批量产业化应用技术 |
| 5 | 质量检测及修复 | 铸件残余应力、弹性模量、断裂韧性等关键性能指标的精确检测技术; 铸件工业CT无损检测技术; 铸件三维光学照相尺寸测量技术, 铸件壁厚超声测量技术; 砂型在线检测技术; 铸件激光熔覆和焊补修复技术; 铸件热等静压处理技术; 轻合金铸件浸渗密封技术 |
| 6 | 铸件热处理技术 | 壁厚 ≥ 150 mm铸铁件稳定淬透性生产技术; 等温淬火球墨铸铁(ADI/CADI)热处理技术; 大型铸钢件(尺寸大、壁厚不均匀)热处理技术; 双金属复合铸件热处理技术; 压铸结构件热处理技术; 耐磨材料热处理技术(提高耐磨铸件强度、韧性和使用寿命, 降低合金元素用量, 防止厚大耐磨件开裂, 减少耐磨钢铁件表面脱碳) |
| 7 | 节能减排及资源再生循环利用 | 粉尘、烟尘、有害气体净化处理与再利用技术; 树脂砂VOCs整套治理技术; 消失模铸造专用VOCs环保治理技术; 硅酸盐类无机粘剂砂型(芯)废砂再生处理技术; 高再生率碱酚醛树脂砂再生技术; 铸造熔炼节能技术; 铸造生产余热回收利用技术 |
| 8 | 智能制造 | 铸造工业软件: 基于物联网技术的关键过程参数控制系统研究, 柔性化制造执行系统研发, 面向铸造生产智能单元管理与控制系统研发; 智能检测技术: 铸件智能化无损检测技术、图像识别技术在铸造企业的应用研究; 工业互联网: 面向铸造行业的工业互联网平台开发及建设, 标识解析体系在铸造企业的应用研究, 远程运维技术及平台的应用研究, 基于数值模拟技术的“1+N”铸造数字化智能化创新平台 |

3.2.5 推进铸造行业绿色发展

(1) 提升铸造企业环保治理水平。①严格贯彻落实《排污许可管理条例》和《排污许可证申请与核

发技术规范 金属铸造工业》, 推进铸造企业规范申请排污许可证, 实现依法持证排污。②加快执行《铸造工业大气污染物排放标准》等环保强制标准, 推进企

表5 重点发展的高端铸造装备
Table 5 Focus on the development of high-end casting equipment

| 序号 | 类别 | 设备名称 |
|----|--------------------|---|
| 1 | 熔炼及周边设备 | 高温合金真空熔炼定向凝固设备；钛合金真空感应熔化及浇注设备；高效节能铝合金熔化设备；高效节能镁合金熔化设备；电渣熔铸成套设备；大吨位（10 t/h以上）外热送风水冷炉龄冲天炉；铁液自动化转运装备；铁液智能化浇注机；蠕墨铸铁蠕化喂丝装备；铁液质量热分析仪 |
| 2 | 砂型/芯铸造设备 | 粘土砂垂直造型生产线：高紧实度、造型效率 ≥ 500 型/h；粘土砂静压造型生产线：高紧实度、造型效率 ≥ 160 型/h <双主机>、适合大件砂箱尺寸 ≥ 1400 mm；粘土湿型砂高效成套砂处理设备；大型自硬砂成套设备： ≥ 100 t/h连续式混砂机、百吨及以上振实台、百吨及以上起模机；铸造用原砂、型（芯）砂性能监测设备及在线检测仪器；自动化智能制芯中心：集成化、模块化、柔性化制芯中心；精密组芯造型设备系统；铸造用高硅砂提纯工艺及其成套装备；废（旧）砂（粘土砂、水玻璃砂、树脂砂等）再生成套设备；自硬砂大型多功能柔性抓取合箱装备 |
| 3 | 熔模精密铸造设备 | 高效自动化熔模铸造生产线；超大型合模力注蜡机：合模力 ≥ 300 t，一次注蜡量最高为30 L；液态注蜡机；可变流量智能射蜡机：全过程控制射蜡温度、压力、时间，控制不同阶段的射蜡流量；精密铸造大型脱芯釜；精密铸造用微波脱蜡设备；制壳智能机器人系统：适用多品种小批量生产，大幅度减少制壳能耗，降低操作技能要求；多头多臂制壳机器人：三头六臂或者四头八臂制壳机器人；铸件内浇道自动打磨设备：双工位，单工位圆盘，弧形及锥形浇口打磨 |
| 4 | 消失模/V法铸造设备 | 高效消失模/V法铸造生产线；消失模铸造振动台 |
| 5 | 有色合金压铸/挤压/差压/半固态设备 | 8 000 t及以上超大吨位压铸机；智能压铸岛：以压铸机为核心，配备给汤机械手、喷涂机械手、取件机械手、压铸件切浇口装置、压铸件打码机、快速换模系统、镶嵌件装置、产品输送装置等多种自动化设备；差压铸造成套设备；挤压铸造成套设备；大容量高固相半固态铝合金浆料制备设备；压铸模具高效微喷涂装置 |
| 6 | 离心铸造设备 | 智能化离心铸造生产线；超大直径，大吨位立式离心铸造设备；特大口径离心球墨铸铁管生产设备。 |
| 7 | 铸造用快速成形设备 | 大尺寸、高效率、高稳定性的砂型喷墨打印（3DP）成形设备：大型化打印最大特征尺寸 ≥ 2000 mm、打印效率 ≥ 500 L/h、连续无故障运行 ≥ 120 h；大型砂型喷墨打印（3DP）成形设备打印喷头：分辨率 >300 dpi、墨滴体积 ≥ 80 pl、最高振动频率20 kHz；适合大尺寸砂型烘干的微波烘干设备；砂型切削与砂型喷墨打印（3DP）一体化成形设备；砂型挤压成形与砂型喷墨打印（3DP）一体化成型设备；应用于熔模铸造的光固化成型（SLA）设备 |
| 8 | 面向复杂工况条件下的作业机器人 | 大型砂型、重型砂箱/铸件抓取机器人；铸件柔性打磨机器人；铸件缺陷焊补机器人；重载移动搬运机器人；AGV/RGV；铸件内部缺陷射线检测机器人 |
| 9 | 铸件打磨设备 | 铸件高效自动化打磨/切削专机或打磨机器人单元；八自由度智能喷砂机器人；智能抛丸清理成套装备/线；大型铸件清理打磨机器人 |
| 10 | 铸造专用环保设备 | 适用于铸造的高效智能除尘系统；消失模铸造专用VOCs环保治理设备 |

业采用高效环保治理设施，强化无组织排放管控，推进企业达标排放；推进企业环保“一企一策”深度治理，创新行业“环保管家”等服务新模式，推行污染物集中治理和第三方环境管理，提升铸造企业环保管理水平。

（2）加大先进节能减排技术应用^[8]。①关注铸造生产重点用设备，推进企业采用高效节能熔炼设备、热处理设备和节能压铸机等设备；关注铸造生产过程能源管控，重点推进铸造生产余热回收及利用。②鼓励符合产业政策的铸造用生铁企业，采用“短流程”工艺生产铸铁件或开展铁液集中配送，鼓励具备条件的企业开展铝液集中配送生产铝合金铸件，减少

金属的二次熔化并降低综合能耗。③大力开发和应用环保树脂、无机粘结剂、水基涂料、高效发热冒口、环保型精炼剂、低碳/无碳粘土湿型砂、熔融/烧结陶瓷砂等先进铸造原辅材料，减少污染物的产生量；建立一批绿色铸造原辅材料产业化应用示范基地。④建立一批全国铸造废砂再生处理基地，鼓励大型铸造企业购置废砂再生处理设备并协同周边企业废砂处理，推进铸造企业集聚区建立第三方废砂再生处理中心，提高全行业废砂再生处理比例^[9]。

（3）推进废旧金属循环再生与利用。积极推广“合成铸铁”生产技术和再生铝应用技术，进一步扩大铸造行业对废钢、废铝等废旧金属的使用量和应用

范围,让铸造产业成为废旧金属循环再生与利用的重要应用领域。

4 相关建议^[10]

(1) 持续营造有利于铸造产业发展的环境。铸造与主机行业在产业链上高度关联,是装备制造业发展的重要支撑。近年来,铸造行业的产业发展环境面临不少困境,国家层面需要进一步优化产业发展环境,加快理顺铸造行业发展的政策规定,强化在涉及铸造的环保、安全、能耗方面标准的科学制定,依法依规特别是通过标准规范行业发展,破解企业在项目建设、环评立项和融资信贷等方面面临的困扰,强化上下游产业协同发展,促进各类要素合理流动和高效集聚,营造一个更有利于铸造基础产业发展的公平竞争环境。

(2) 加大对铸造产业链“短板”工程的支持力度。强化制造业产业链协同,推进装备制造业高质量发展,需要对铸造等基础产业给予更多的关注。提升铸造基础制造能力,需要重点开发一批高性能铸造合金及先进铸造原辅材料、开展关键共性铸造技术和先进铸造工艺研究、突破铸造领域重大技术装备的自主化制造,最终实现影响主机和重大技术装备关键铸件的高质量制造。

(3) 大力推进铸造产业转型升级。我国铸造产业在国际上具有很强的竞争优势,在发展新兴产业的同时,应大力扶持铸造产业的改造升级,激发传统铸造产业的发展潜能,更有利于提升我国制造产业的国际竞争力。建议国家相关产业政策重点支持铸造行业节能减排技术与装备的研制,加大成熟节能减排技术与装备的推广应用,支持铸造企业进行提质增效、节能减排、环保提升等方面的改造,加快助推铸造行业新旧动能转换。

(4) 重点支持铸造行业自主研发能力和技术创新水平的提升。支持企业提升自主研发和技术创新能力与水平,建议国家加大具有自主知识产权科技成果

市场转化的资金、政策扶持力度,保持企业研发费用加计扣除等财税政策的延续性。重点认定一批“国家级企业技术研发中心”“国家工程技术研究中心”和“国家重点实验室”等创新中心,支持“产、学、研、用”创新平台建设;在铸造不同细分领域扶持一批产业研究院,并依托这些平台开展关键共性技术研发和产业化工程化推广应用。建议重点建设一批国家认定的“铸造行业检测中心”,提升产品检测和生产全流程质量控制评价服务能力,支持产业集群(工业园)的产品开发、检验检测和咨询服务等公共技术服务平台建设。

(5) 加强产业政策引导,推进铸造产业集群(工业园)建设。发展产业集群可以实现区域内企业专业分工,节约资源、提高效率和效益,共享公共服务平台,提高区域创新能力,创建区域品牌,实现集约化生产,形成规模竞争优势,是铸造行业未来转型发展的重点方向,也是我国实现铸造业由大变强的战略举措。铸造行业要改变产业集群发展不平衡、整体竞争力不强的现状,要把现有的“产业集聚”转型发展成为“产业集群”,建议国家重点扶持一批特色铸造产业集群(园区),进行科学规划引导,促进产业集群(园区)产业结构调整 and 升级,推进技术进步,优化产业集聚环境,突出优势和特色,提高专业化协作水平,增强自主创新能力,加强资源节约和环境保护,推进绿色生态型集群(园区)建设。

(6) 进一步发挥社会组织在行业管理中的作用。建议进一步发挥行业组织熟悉行业、熟悉企业的优势,让行业组织充分参与或承担政府部门主导的行业发展规划、产业政策和相关标准制定。涉及行业发展的重大政策和法律法规,应充分听取行业组织的建议;在规范行业发展秩序、促进行业技术进步、开展行业数据分析与运行监测、制定行业标准、推进行业绿色智能发展、扩大企业国际交流与合作、开展职业教育与职业技能培训等方面,让行业组织发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 中国铸造协会. 铸造行业“十四五”发展规划[J]. 铸造工程, 2021, 45(4): 1-14.
- [2] 柳建国, 黄天佑, 卢定全, 等. “十二五”中国铸造行业发展浅析[J]. 铸造技术, 2012, 33(9): 1090-1093.
- [3] 中国铸造协会. 铸造企业规范条件[J]. 铸造工程, 2019, 43(6): 1-4.
- [4] 柳建国, 吕志刚. 熔模铸造节能减排技术评价模型研究[J]. 铸造工程, 2022, 46(1): 1-7.
- [5] 张立波, 温平, 支晓恒, 等. 铸造强度正在崛起透过2010年中国国际铸造博览会看中国铸造业发展[J]. 铸造技术, 2010, 31(7): 814-817.

- [6] 吴炳尧, 修毓平. 一体化压铸应稳慎徐图 [J]. 铸造工程, 2022, 46 (6): 1-5.
- [7] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造技术路线图 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.
- [8] 柳建国, 马波, 朱家辉, 等. 熔模铸造硅溶胶快速制壳工艺研究与实践 [J]. 铸造, 2020, 69 (10): 1081-1086.
- [9] 柳百成. 节约资源、环境友好的铸造生产 [C]//2008中国铸造协会年会论文集. 上海: 中国铸造协会, 2008: 2-15.
- [10] 中国铸造协会. 推动铸造行业高质量发展 [J]. 瞭望, 2023, 2055 (31): 19-21.

Analysis on Development of China's Foundry Industry in the "14th Five-Year Plan Period"

LIU Jian-guo, ZHAO Gang, WANG Dong-sheng, ZHANG Zhi-yong, MA Hong-ru, GAO Wei, LI Hua-zhong, WU Ren-gui
(China Foundry Association, Beijing 100044, China)

Abstract:

The "14th five-year development plan" for foundry industry is interpreted and carried out in order to help readers understand the content of the plan. This paper analyzes the achievements and main problems of the casting industry in the "13th five-year plan" period, looks into the development trend of the casting industry in the next five years, puts forward the main goals and tasks of the development of the casting industry in the "14th five-year plan" period, and clearly points out the urgent research and development and application of casting related generic technologies, key castings and key equipment. In order to further accelerate the casting industry to step into a new stage of high quality development, the relevant suggestions are put forward. The plan will push China casting industry into the scientific development track, play an important role in leading and promoting the development of the industry, help the development of high-end equipment manufacturing industry, and boost the early realization of the goal of strong casting.

Key words:

foundry industry; innovation; intelligent; green and low carbon; high quality development
