



中国工程院化工、冶金与材料工程学部咨询研究项目

特殊钢在先进装备制造业 应用中的战略研究

翁宇庆 陈蕴博 刘 玠 等编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

中国工程院化工、冶金与材料工程学部咨询研究项目

特殊钢在先进装备制造业 应用中的战略研究

翁宇庆 陈蕴博 刘 玠 等编著

北 京

冶金工业出版社

2012

内 容 简 介

本书对我国特殊钢与装备制造业产业链体系的现状与发展进行分析;对航空航天、能源、轨道交通、新型汽车、海洋工程、环保等装备制造业用高品质特殊钢应用现状与前景进行专题讨论;着重分析高品质特殊钢对先进装备制造业保障能力的差距,对提升高品质特殊钢对先进装备制造业保障能力提出建议。本书的核心思想是关注我国特殊钢保障能力提升的战略问题,旨在切实加快特殊钢转变经济发展方式,强化特殊钢创新驱动作用,推动特殊钢企业加快产业转型升级,不断培育特殊钢新的经济增长点。

本书可为钢铁冶金和金属材料相关领域的管理决策人员提供参考,也可作为科研人员、生产人员、教学人员的学习材料。

图书在版编目(CIP)数据

特殊钢在先进装备制造业应用中的战略研究 / 翁宇庆等
编著. —北京:冶金工业出版社, 2012.11

中国工程院化工、冶金与材料工程学部咨询研究项目

ISBN 978-7-5024-6090-7

I. ①特… II. ①翁… III. ①钢—应用—制造业—工业
发展战略—研究报告—中国 IV. ①F426.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第242181号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 刘小峰等 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6090-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;文物出版社印刷厂印刷

2012 年 11 月第 1 版, 2012 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 28 印张; 594 千字; 439 页

158.00 元

冶金工业出版社投稿电话: (010) 64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话: (010) 64044283 传真: (010) 64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100010) 电话: (010) 65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

项目组成员名单

项目负责人：

翁宇庆	中国工程院院士	中国金属学会教授级高工
陈蕴博	中国工程院院士	机械科学研究总院教授级高工
刘 玠	中国工程院院士	中国科协副主席

课题组一：特殊钢在航空、航天领域中的应用研究

课题负责人：杨志勇	教授级高工	钢铁研究总院
课题组成员：张玉春	教授级高工	东北特钢集团
张 继	教授级高工	钢铁研究总院
章 骏	教授级高工	中国商飞上海飞机设计研究院
梁剑雄	高级工程师	钢铁研究总院
王春旭	高级工程师	钢铁研究总院

课题组二：特殊钢在新型汽车领域中的应用研究

课题负责人：马鸣图	教授级高工	中国汽车工程研究院
课题组成员：陈一龙	教授级高工	中国汽车工业学会
惠 荣	教授级高工	中信泰富特钢集团
王智文	高级工程师	中国汽车工业学会
杨伟宁	教授级高工	宝钢特钢
惠卫军	教授级高工	钢铁研究总院
刘剑辉	博士	钢铁研究总院
曹正中	教授级高工	第一汽车集团公司技术中心
路洪洲	工程师	中国汽车工程研究院
张 伟	工程师	中信金属
王利刚	工程师	中国汽车工业学会
宋磊峰	工程师	中国汽车工程研究院

课题组三：特殊钢在轨道交通领域中的应用研究

课题负责人：	张 斌	研究员	中国铁道科学研究院
课题组成员：	周清跃	研究员	中国铁道科学研究院
	张 弘	副研究员	中国铁道科学研究院
	陈朝阳	副研究员	中国铁道科学研究院

课题组四：特殊钢在先进能源装备领域中的应用研究

课题负责人：	黄 剑	教授级高工	中信泰富特钢集团
课题组成员：	谢 蔚	教授级高工	中信泰富特钢集团
	叶舜发	教授级高工	上海市金属学会
	章靖国	教授级高工	上海市金属学会
	龚肇亨	高级工程师	上海市金属学会
	凌 进	教授级高工	上海重型机器厂
	林富生	教授级高工	上海发电设备成套设计研究院
	张汉谦	教授级高工	宝钢研究院结构钢所
	张忠铎	高级工程师	宝钢研究院钢管所
	郑 磊	教授级高工	宝钢研究院
	付可伟	高级工程师	宝钢股份科技发展部
	吴晓春	教授	上海大学材料学院
	孙 坚	教授	上海交通大学
	王治政	教授级高工	湖北新冶钢有限公司
	沈秋平	高级工程师	上海核电设计研究所
	娄延春	高级工程师	沈阳铸造研究所
	刘正东	教授级高工	钢铁研究总院
	李国忠	教授级高工	江阴兴澄特种钢铁有限公司
	华文杰	高级工程师	宝钢特钢
	徐松乾	教授级高工	宝钢特钢

课题组五：特殊钢在海洋工程装备领域中的应用研究

课题负责人：	龚肇亨	高级工程师	上海市金属学会
课题组成员：	谢 蔚	教授级高工	中信泰富特钢集团
	尹衍升	教授	上海海事大学材料学院

黄 剑	教授级高工	中信泰富特钢集团
叶舜发	教授级高工	上海市金属学会
章靖国	教授级高工	上海市金属学会
毛彭龄	教授级高工	上海市金属学会
吴晓春	教授	上海大学材料学院
王治政	教授级高工	湖北新冶钢有限公司
张汉谦	教授级高工	宝钢研究院结构钢所
李国忠	教授级高工	江阴兴澄特种钢铁有限公司
华文杰	高级工程师	宝钢特钢
徐松乾	教授级高工	宝钢特钢

课题组六：特殊钢在先进环保装备领域中的应用研究

课题负责人：张译中	主任研究员	宝钢研究院情报中心
课题组成员：王 刚	研究员	宝钢研究院情报中心
肖邦国	处长 / 高级工程师	冶金工业规划研究院
吴 刚	副处长 / 工程师	机械工业环保产业发展中心
石 磊	博士	宝钢研究院炼铁与资源环境所
倪建东	部长	宝钢工程技术集团有限公司 环资事业部环保部
徐松乾	首席研究员	宝钢研究院特钢技术中心
孙大乐	首席研究员	宝钢研究院设备所
叶晓宁	首席研究员	宝钢研究院不锈钢技术中心
肖永力	首席研究员	宝钢研究院炼铁与资源环境所
韩 俭	研究员	宝钢集团人力资源部
张 娜	助理研究员	宝钢研究院情报中心
宋红梅	主任研究员	宝钢研究院不锈钢技术中心
张 伟	高级工程师，博士	宝钢研究院不锈钢技术中心
申红杰	工程师	机械工业环保产业发展中心
李晓红	教授级高工	冶金工业规划研究院
刘 琦	工程师	冶金工业规划研究院
高 升	工程师	冶金工业规划研究院

课题组七：轴承钢、工模具钢在先进装备制造业中的应用研究

课题负责人：	陈蕴博	工程院院士	机械科学研究总院
课题组成员：	魏果能	教授级高工	钢铁研究总院
	董学东	教授级高工	东北特钢集团
	王森辉	高级工程师	机械科学研究总院

项目工作组：

工作组组长：	谢蔚	教授级高工	中信泰富特钢集团
	董瀚	教授级高工	钢铁研究总院
工作组成员：	孔令航	教授级高工	中国金属学会
	胡名洋	教授级高工	中国特殊钢协会
	黄剑	教授级高工	中信泰富特钢集团
	张晨	高级工程师	钢铁研究总院
	左玲立	高级工程师	机械科学研究总院

目 录

总报告

高品质特殊钢在先进装备制造业应用中的战略研究报告	1
--------------------------------	---

调研报告

特殊钢在航空、航天领域中的应用研究	31
特殊钢在新型汽车领域中的应用研究	72
特殊钢在轨道交通领域中的应用研究	117
特殊钢在先进能源装备领域中的应用研究	150
特殊钢在海洋工程装备领域中的应用研究	198
先进环保装备用高品质特殊钢调研报告	251
轴承钢、工模具钢在先进装备制造业中的应用研究	366

专题报告

先进装备制造业用特殊钢的技术支撑分析	406
特殊钢在先进装备制造业应用的特殊冶炼装备与技术分析	412
先进装备制造业中的大型铸锻件	424

高品质特殊钢在先进装备制造业应用中的战略研究报告

我国特殊钢产业对先进装备制造业的保障能力尚不足，特别是特殊钢关键材料成了先进装备制造业的“卡脖子”环节。如何提升特殊钢对先进装备制造业的保障能力？由中国工程院化工、冶金与材料工程学部翁宇庆院士、陈蕴博院士，信息与电子工程学部刘玠院士共同主持，成立咨询项目组，组织六位工程院院士，与中国金属学会、中国特钢企业协会、上海金属学会、中国金属学会特殊钢分会等单位，在中信泰富特钢集团和钢铁研究总院等单位的支持下，于2011年4月1日立项，包括应用部门的专家在内，共有特殊钢有关的产学研用85位专家参加了工作。专家们对我国特殊钢与装备制造业产业链体系的现状与发展进行分析；对航空航天、能源、轨道交通、新型汽车、海洋工程、环保等装备制造业用高品质特殊钢应用现状与前景进行调研（形成六大装备制造业对特殊钢需求和轴承钢、工模具钢、高速钢三个钢种现状的调研报告以及“先进装备制造业用特殊钢技术支撑分析”、“特殊钢在先进装备制造中应用的大型铸锻件能力分析”、“特殊钢在先进装备制造业中应用的特殊冶炼装备与技术分析”、“国外特殊钢企业发展借鉴分析”、“国内特殊钢产学研现状及建议”等专题报告）；着重分析高品质特殊钢对先进装备制造业保障能力的差距，对提升高品质特殊钢对先进装备制造业保障能力提出建议。历时18个月，形成了《高品质特殊钢在先进装备制造业应用中的战略研究报告》，其核心思想是关注我国特殊钢保障能力提升的战略问题，旨在切实加快特殊钢转变经济发展方式，强化特殊钢创新驱动作用，推动特殊钢企业加快产业转型升级，不断培育特殊钢新的经济增长点。建议从应用环境、研发平台、现场制造能力三大层面引导我国特殊钢从应用性创新走向原创性创新，并给予特殊钢关键品种生产、研发机构一定的扶持政策。

一、高品质特殊钢与先进装备制造业产业链战略地位

高品质特殊钢与先进装备制造业是和新兴科技深度融合，对国民经济起先导性、支柱性作用，有可能引发新一轮产业革命的两大产业，是一对高度关联的战略性和新兴产业链。

先进装备制造业是国家安全战略的重要保障，是产业升级和国家综合实力的集中

体现,我国已明确将先进装备制造业列为当前国家重点发展和培育的战略性新兴产业。能源产业及装备的发展,关系到我国能源战略的实现;海洋资源探测及开发装备的发展,关系到我国海洋战略的实现;航空、航天和国防科技的发展,关系到我国空天及国防安全战略的实现;轨道交通、汽车轻量化、环保装备的发展,关系到我国民生及生态战略的实现。

高品质特殊钢是钢铁材料中的高技术含量产品,是国家工业化和国防安全的基础材料;国务院明文“积极发展”的高品质特殊钢、新型合金材料属战略性新兴产业范畴,是提升先进装备制造能力的重要基础原材料。高品质特殊钢为航空、航天,能源,海洋开发,轨道交通、汽车轻量化、环保等产业的重大装备制造、重大工程建设、战略性新兴产业及国防先进武器提供所需的核心、关键、难以替代的材料,保障高端制造业发展。

“十二五”期间,高品质特殊钢主要市场需求是新能源制造业用钢、节能环保制造业用钢、高端制造业用钢等三大制造业用钢。其中高端装备用钢有:航空装备、卫星制造与应用、轨道交通设备制造、海洋工程装备制造和智能制造装备等先进装备制造业用钢。

二、我国特殊钢生产已在数量上与国民经济发展大体适应,特殊钢材品种有长足的发展,量大面广的特殊钢多数品种在质量、性能上能够满足国民经济各部门需求

1. 我国特殊钢产业经过几十年特别是近二十年的发展,取得了一些成绩和进步:通过产学研用结合,攻克了若干技术难关,提升了产品和企业的竞争力。合金结构钢的强度成倍提高,韧性和塑性有了一定程度的改善,实现了船用曲轴、核电大型锻件等国产化;钢的洁净度持续提升;特殊钢品种开发增速,特殊钢材品种有长足的发展,有力地支撑装备制造业。按照使用的品种技术分类,大致有以下八类:

(1) 国防军工、航空、航天、卫星、战略导弹及常规武器用高温合金、钛合金、精密合金、电子专用材料、低合金高强度钢、微合金非调质钢、易切削钢、高合金弹簧钢。

(2) 轿车制造用窄淬透性齿轮钢、气门弹簧钢丝、悬挂弹簧钢丝、阀门银亮材、易切削钢材、微合金非调质钢材,轿车排气、消音系统用新型铁素体不锈钢耐热钢板和钢管。

(3) 家电行业用大量模具钢,主要是塑料模具钢材,玻璃、陶瓷(建材)等非金属模具钢材,模具扁钢材和模块。

(4) 飞机、轿车、汽轮机及军工制造用特殊超硬高韧高速钢,易磨削高耐磨性高速钢及高钴特种高速钢。

(5) 电站用特殊合金钢材。主要是新型耐热钢：600~650℃用超级奥氏体和马氏体型换热器用耐热钢，水电用耐气蚀和磨损的新型高强高韧不锈钢，用于高水头、高泥沙含量的水电机组转轮机叶片用抗磨损高强不锈钢特厚板。

(6) 核电、石化、建筑、航天、航空、航海、电站、家用电器用高技术含量不锈钢。主要是不同表面状态的不锈钢冷板、彩色不锈钢板，黑色不锈钢带、高强度不锈钢、功能不锈钢（隔音防震不锈钢、形状记忆不锈钢、核聚变堆用低放射性不锈钢），以及核热交换管用无应力腐蚀不锈钢管和石化、电站用不锈钢复合板。

(7) 我国实现了大型铸锻件产业的战略性技术突破和产业突围。系统攻克了核电、水电、火电、船用柴油机等领域的一批大型铸锻件制造关键技术，形成了一系列重大产品，打破了国外垄断。

(8) 特种熔炼技术是生产高品质特殊钢必不可少的手段，国内特殊冶炼装备、冶炼技术水平近几年得到快速发展，无论炉外精炼工艺、电渣重熔工艺、真空感应熔炼工艺还是真空自耗重熔工艺都得到全面发展，产品洁净度明显提高，气体含量明显降低。

2. 高品质特殊钢技术开发有所突破，目前我国特殊钢扁平材、管材、棒线材、锻材、丝材制品和粉末冶金复杂部件等专业化生产线，在节约镍资源的铁素体不锈钢薄板、重大工程用超超临界火电机组用耐热钢管、节能微合金非调质钢棒、高品质模具钢锻材、粉末高速工具钢、LNG用低温钢板、煤机用高强度中厚板、汽车用高强度冷轧板、超高强度钢丝制品等典型品种上，攻克了特殊钢专业化生产线共性关键技术问题，取得了一批丰硕成果并具有一定的创新性；高强度钢（线材）可达4600MPa，耐高、低温钢可达600~-196℃（超过600℃主要应用高温合金）；大型铸锻件行业技术取得显著进步；顶替进口，自主开发能力提高，先后开发G3镍基油井管、镍基690 U形管、Super304H、HRC3耐热钢等；特殊钢企业进行了新一轮流程再造，以太钢、中信泰富、东北特钢、宝钢特材为代表的大型特殊钢企业，基本上实现了钢铁流程绿色环保。

三、特殊钢关键品种的质量、性能、绿色化总体水平还不高，高端特殊钢产品与国际先进水平仍有较大差距

我国特殊钢关键品种的质量、性能、绿色化总体水平还不高，一些高端特殊钢产品仍无法满足需求，与国际先进水平仍有较大差距。我国特殊钢对先进装备制造业在数量上保障力并不足；特殊钢满足先进装备制造业对钢材质量稳定性、性能特殊性需求的保障力更不足；国家对特殊钢政策导向与政策措施不对称，政策导向明确，但缺乏有针对性的、可操作的、有效的具体配套政策措施，政策措施保障力尚不足。

我国高品质特殊钢比例低，特殊钢产品结构不合理，部分高端产品不能满足国内行业发展及重大工程需求，核心部件材料不过关，不能国产化，部分品种“十二五”虽有国产化安排，其突破程度尚待努力进行，予以观察。特殊钢板带材、管材、棒材、

锻材和复杂型材生产技术水平亟待提高。

我国许多重大技术装备的发展受制于特殊钢的质量水平。高效率火电机组需要耐高温的锅炉钢管、转子钢锻件、耐热钢叶片等；核电设施建设需要压力容器钢锻件、不锈钢主管道、蒸汽发生器耐蚀合金 U 形管、主泵用马氏体时效钢等；风力发电机组大型轴承用钢；高铁动车轮用车轮钢、车轴钢、轴承钢、齿轮钢等；大型飞机用超高强度钢起落架、关键承力部件用高强度不锈钢、发动机主轴轴承钢、发动机主轴用马氏体时效钢等；大型实验设施（如热核聚变）用不锈钢和马氏体时效钢；机器加工用工具钢和模具钢等。

我国特殊钢关键品种的质量、性能、绿色化总体水平主要表现在：

1. 高端材料品种自给率不高，近两成材料完全空白。高速列车车轮车轴、700℃超超临界发电用高温材料、大型客机用超高强度钢、新能源产业用特殊钢新材料、大量高温耐蚀合金、超级工模具钢、高硅电工钢、高性能不锈钢及镍基合金焊材、钛合金挤压型材等材料 and 关键的零部件依赖进口，深海海洋用钢（含 Ti 合金）基本上还没有开展工作。

2. 大量材料的品质较低，近三成材料，如核电蒸发器用 GH690 合金管材、高性能重载齿轮钢、高性能钛合金管材等虽能生产但质量不稳定。

3. 完全成熟产业化的材料，生产过程中存在资源利用率低、能耗高、环境污染严重的问题。

4. 大型铸锻件生产技术不足，冶炼有诸多纯净性、偏析、等向性等问题，铸锭质量失控。

5. 特殊冶炼工艺技术与国外还有相当差距，特种冶炼设备（真空自耗炉、加电压渣炉等）基础理论研究薄弱，无大型冶炼设备（20 吨以上真空感应、真空自耗等），大锭型工艺薄弱。

6. 高牌号关键品种特殊钢、军工配套用材“企业投入大、性能要求高、数量需求小、社会贡献大、企业效益低”的需求特点比较明显。

7. 国家扶植政策不对称。为受到国家扶植政策支持的新能源汽车、大飞机、高速铁路、核电、国防军工等重大装备制造、重大工程建设、战略性新兴产业及国防先进武器提供关键材料的特殊钢企业却得不到同等的扶植待遇，长此，将影响国内特殊钢新材料抢占世界新材料制高点。

我国特殊钢行业要从高品质特殊钢本质特征入手，缩小与国外先进水平的差距。钢的洁净度（经济洁净度）、均匀度、组织细化度和尺寸精度等是特殊钢的本质特征。采用新技术、新装备、新工艺和新的检测技术（如精料、高洁净度冶炼、连铸、高精度轧制、控轧控冷、可控气氛热处理、在线检测和精整等），以保证特殊钢的本质特征，是特殊钢生产的充分必要条件。

我国特殊钢与国外先进水平差距主要表现在以下方面：

一是高洁净度。特殊钢的洁净度提高到一定程度后，不但原有性能大幅度改善，而且还能赋予特殊钢新的特性，轴承钢中的氧含量从 30 ppm 降低到 5 ppm，则轴承寿命提高 30 倍。通用奥氏体不锈钢中的磷降低到 3 ppm，则对应力腐蚀免疫。20 世纪末工业生产所能达到的钢的纯度水平 (ppm) 为：氢 ≤ 1 、氧 ≤ 5 、碳 ≤ 10 、硫 ≤ 10 、氮 ≤ 15 、磷 ≤ 25 。在强调高洁净度同时，对不同用途的钢种要从经济适用角度把握适度的“经济洁净度”。

二是高均匀性。均匀的组织可以充分发挥合金钢的性能潜力。现代生产工艺应使钢的均匀性达到：对合金元素精确控制水平为碳、镍、钼含量 $\pm \leq 0.01\%$ ，锰和铬含量 $\pm \leq 0.02\%$ ；轴承钢淬火后的晶粒度为球形且尺寸波动在 $0.8 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ；抗层状撕裂钢 (Z 向钢) 的纵向、横向和厚度方向的力学性能，特别是塑、韧性要求大体上相当。

三是超细组织。组织的超细化可以在提高强度的同时改善韧性。大多数微合金钢的屈服强度在 400 MPa 左右，如果晶粒细化到 $1 \mu\text{m}$ ，屈服强度可以提高一倍，达到 800 MPa；例如高强度不锈钢 AFC77 的晶粒从 $60 \mu\text{m}$ 细化到 $2.3 \mu\text{m}$ ，则断裂韧性 KIC 从 $100 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 增加到 $220 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 。核反应堆压力容器钢板为粗晶时，其辐照脆化温度范围为 $150 \sim 250^\circ\text{C}$ ，而细晶钢降到 $50 \sim 70^\circ\text{C}$ 。轴承钢中的碳化物尺寸细到 $\leq 0.5 \mu\text{m}$ ，则轴承寿命大幅度提高。

四是高精度。高精度是提高钢材利用率和使用寿命的重要条件，特殊钢材要有良好的表面质量和窄的尺寸公差。目前热轧棒材的精度已经达到 $\pm 0.01 \text{ mm}$ ，通过精整剥皮后可以生产出光亮材，从而提高零件的生产精度。热轧板卷的厚度公差达 $\pm (0.015 \sim 0.05) \text{ mm}$ ，而冷轧板卷的厚度公差已达 $\pm 0.003 \text{ mm}$ 。

特殊钢关键品种在上述本质特征存在不同程度缺陷，导致国内高端特殊钢产品与国际先进水平仍有较大差距。

四、特殊钢对先进装备制造业保障能力主要差距

一是稳定性是国内特殊钢保障能力最大差距。产品稳定性差，造成部分先进装备 (整机) 依赖进口。如 650°C 以上大型超超临界发电机组、所有核电机组 (AP-1000MW、CAP-1400MW)、所有民用和商业飞机、高速铁路用轴承、车轮等。

二是先进装备制造业核心部件所需材料不过关。飞机起落架、高速列车车轴、轴承等抗疲劳高强钢，核电站用耐高温、抗辐射不锈钢耐热钢管，燃气轮机、涡扇发动机的高温合金叶片等材料，目前还不能国产化。

三是先进装备制造业用特殊钢关键品种存在较大差距。特殊钢关键品种是满足特定市场、特定用户的特定要求的专业性产品和特殊性能产品，市场的专业性强，市场辐射面窄，有些钢种市场的需求量并不大，但却是用户 (如国防军工、重大工程、先进装备制造业) 必需的关键性不可替代材料。如：

1. 制造电站超临界机组、超超临界机组过热器、再热器所需要的高压锅炉钢管：S30432 高压锅炉管，600 MW、1000 MW 超临界、超超临界电站锅炉用不锈钢管材 (Super304H)。
2. 提速、重载铁路货车轴承用真空脱气渗碳轴承钢。
3. LNG 及乙烯工程用镍系低温钢。
4. 不锈钢焊丝、气阀钢丝、易切削不锈钢丝。
5. 石油化工，海洋石油、运输工具、储存设备用经济型双相不锈钢。
6. 能源、冶金机械、船舶动力等产业用大型和高附加值铸锻件。

特殊钢关键品种是国家需要产品，不具备市场竞争属性，特殊钢企业称之为国家需要的“使命性产品”，前期研发投入大。先进装备制造业急需的核心、关键、难以替代的特殊钢材料“利在社会，功在国家，亏在企业”的状况不解决，将影响国内特殊钢新材料抢占世界新材料制高点，应引起国家高度关注。

五、由于保障能力不足，导致部分高品质特殊钢依赖进口，受制于人

1. 高温合金：伴随我国核电、石油、汽轮机、能源等行业的发展，急需 UNSN06690、UNSN08367、TDJ-G3、HR120 等大量高温、耐蚀合金，目前大量需要国外进口。
2. 大型客机用超高强度钢：国产化大型客机开发主要钢种有 300M、4340、PH13-8Mo、15-5PH 等。国内生产的上述航空结构钢种存在的问题，一是尺寸规格达不到；二是产品均匀性和稳定性不够，至今未能完全消除点状偏析；三是一直未能彻底解决混晶和低倍组织粗晶问题。
3. 模具钢：国外模具钢的品质主要体现在：高纯净度、高均匀度、组织细小、高尺寸精度等。高纯净度、高抛光性能、高耐蚀性能的塑料模具钢，超级质量水平（高寿命）的热作模具钢，以及热成型马氏体模具钢、透气钢、无磁模具钢等特殊性能要求的模具钢主要还依赖进口。如超级热作模具钢 H13，无论是夹杂物、一次碳化物、退火组织中碳化物、横纵向的冲击韧性比还是钢中硫、磷含量，国产 H13 钢大型模块都无法与进口 H13 钢相比。
4. 新能源产业用特殊钢新材料：700℃ 超超临界机组材料用镍基合金，如 GH617、GH740、护环钢材料 P900(18Cr-18Mn-0.6N)、P900-N(18Cr-18Mn-0.9N) 和 P2000(16Cr-14Mn-3Mo-0.9N)，超超临界汽轮机转子材料 12Cr 钢、超超临界汽轮机用高等向性叶片用钢。

5. 高速铁路用材料：中国高速铁路用轴承及轴承材料全部进口。高速铁路用车轴、车轮材料主要依赖进口。CRH 转向架用弹簧材料。G355NH-HS 高速铁路转向架焊接

新材料。

6. 我国大型和高附加值铸锻件依赖进口，受制于人。有些特大型铸锻件花钱也买不到，严重制约了我国能源、冶金机械、船舶动力等重点产业的发展。

六、特殊钢关键品种研发能力与需求匹配上存在差异

需求（型号）带动的关键材料研发有差距，由原创新材料驱动的新型号、新市场、新应用有差距，国家利益与市场机制相结合有差距。要改变目前特殊钢被动跟随制造业发展的现状，做到用特殊钢技术进步引领制造业大发展。

1. 特殊钢新产品的研发到产业化的能力提升过程与国家关键行业迫切需求的匹配上存在差异，同时企业巨大的投入与经营业绩回报存在较大落差。以国产商用大飞机配套材料产业化为例，至 2015 年具备国产化材料配套能力，期间从材料研制到产业化工艺稳定化试制，按照 MMPDS 认证的要求每个钢种至少需要 10 个炉批，并且质量要稳定，工艺要固化，这才是合格供应商的基本条件，为此企业将投入巨资开展材料工艺研究及稳定化产线试制。与此同时，为使专业化产线装备贯通产业化运行，需要开展相关产品制造能力提升所需要一系列配套资源的投入。至实现航空配套产品专业化销售之前，这些研制投入及经营性投入是巨大的，它与企业的经营业绩回报会存在较大的落差，致使生产高端特殊钢产品的企业自主投入和研发动力不足。

2. 在具备替代进口的产品与需求上也存在巨大的匹配差异。在恶劣环境下油气开采的 G3 镍基油井管、核电蒸汽发生器用镍基 690 U 形管、百万千瓦火电机组用 Super304H、HRC3 耐热钢，国内有的特殊钢企业都已经具备替代进口能力。国外的竞争对手纷纷以降价回应特殊钢在国产化进程中的努力，如 G3 镍基油井管开发前国内进口价 50 多万元，目前价格是 25 万元左右；690 U 形管开发前国内进口价 90~100 万元，目前价格是 80 万元左右；Super304H 耐热管开发前国内进口价 12 万元左右，目前价格是 7~8 万元左右；HRC3 耐热管开发前国内进口价 22 万元左右，目前价格是 18 万元左右。然而在国内销售中，特殊钢并没有得到设计方、制作方、业主方的积极回应，如 Super304H、HRC3 耐热钢管特殊钢销售量为零，面对全球最大核电市场，690 U 形管后续无订单。

七、关注特殊钢保障能力的战略问题

要从战略高度分析特殊钢对先进装备制造业保障能力：特殊钢成熟材料产业化能力不足；特殊钢新材料的仿制能力不足；特殊钢核心技术创新能力不足；特殊钢材料体系标准化能力不足。要从战略高度关注特殊钢行业的发展：

(1) 关注批量稳定的产品质量；

- (2) 关注高端品种国产化;
- (3) 关注制造流程绿色化;
- (4) 关注核心企业特色化;
- (5) 关注上下游产业链协调化;
- (6) 关注战略合作的产业联盟;
- (7) 关注数字化的发展平台;
- (8) 关注先进的特殊钢研发基地。

要高度重视技术支撑和关键产品的研发能力对提升特殊钢保障能力的战略意义和核心作用;要依托目前我国特殊钢企业正在和即将进行的先进特殊钢生产线建设,通过技术研发工作,优化特殊钢生产工艺流程,形成特殊钢生产和应用的高品质化技术,推动特殊钢行业结构升级;要高度重视公共研发平台的建设,积极探讨多种形式的公共研发平台建设,促进行业资源整合、优化,成立具有权威性的高层咨询机构,对整个行业提供方向性的技术支撑;要形成数个高品质特殊钢材生产示范线,生产出高品质特殊钢棒线材、扁平材、锻材与锻件、无缝管材等,满足以装备制造业为主的市场需求,到2015年,所依托的生产线所生产的高品质特殊钢材的增加值占相关企业产值比重达到8%,初步形成以高品质特殊钢为特征的战略性新兴产业;在技术方面,要鼓舞创新,突破炼钢的成分精确控制技术,系统研究连铸、大锭型模铸、大锭型电渣的工艺技术,解决成分偏析问题、建立不同钢种的轧制模型,提高轧制精度、研究在线成分和内部缺陷检测技术、建设设备、工艺、品种、在线检测技术集成的示范线,特别是高洁净度冶炼技术—零级夹杂、高均匀度凝固技术—等轴晶、控轧控冷技术—组织调控、热处理技术—组织调控、连接(焊接)技术要从应用性创新走向原创性创新;关注“高品质特殊钢部件化”进展,推动特殊钢技术的进步,为提升特殊钢保障能力打下坚实基础。

八、发展高品质特殊钢的重点方向

发展先进装备用高品质特殊钢是一项长久性的战略任务,先进装备材料国产化的过程,也必定会促进我国特殊钢生产技术的提升。围绕着先进装备对金属材料的要求,我国应该重点发展高强度、超高强度材料,高温、高压材料,低温材料,高耐腐蚀材料等高品质特殊钢,提高材料的纯净度、均质性和疲劳性能,并解决一些特大规格品种的生产难题。

一是发展高强度超高强度材料。

高强度、超高强度钢重点应用于火箭发动机壳体、飞机起落架、防弹钢板、汽车和海洋平台等先进装备,使用部位十分关键。我国高强度、超高强度钢正在渐趋成熟,但还存在品种规格不齐全,质量水平不够高等问题,以及缺乏材料的基础理论研究和

技术工艺的创新。

1. 航空用超高强度钢工艺改进

新一代客机及运输机的关键承力结构部件，如起落架，首选超高强度结构钢材料。在过去的 30 年中，我国已具备批量生产 $\phi 450\text{mm}$ 以下的 300 M 钢大尺寸棒材及大型整体模锻件的能力，采用的是真空感应 + 真空自耗双真空冶炼工艺，缺乏国际先进的单真空 300M 钢的试制生产经验。在原双真空条件下，炉外精炼主要进行脱 P 脱 S，其去除气体和合金化的任务都在真空感应炉内完成，而在单真空条件下，脱 P 脱 S、去除气体和合金化都在炉外精炼完成。不突破国际通行的单真空工艺，我国的 300M 超高强度钢的性价比将无法与国际的 300M 钢进行竞争。我国必须进行单真空工艺攻关，研究在单真空条件下脱气和保证易挥发易烧损元素的成分控制技术。对 $\phi 400\text{mm}$ 棒材进行本体取样，开展性能验证性对比测试分析，在确保满足 MMPDS 的要求情况下进行固化工艺。

2. 发展汽车先进高强度材料

汽车工业的“减量化”目标，推动了汽车用钢的高强化发展，近年来，汽车用先进高强度钢发展很快，其中包括第一代先进高强度钢 (DP 钢、TRIP 钢、马氏体钢以及热冲压成型钢)、第二代先进高强度钢 (TRIP 钢、TWIP 钢)、第三代先进高强度钢 (超级贝氏体钢， δ -TRIP 钢，Q&P、Q&PT 处理的 TRIP 钢，奥氏体逆转变中 Mn TRIP 钢)。国内已经可以生产第一代、第二代先进高强度钢，并开发了部分第三代先进高强度钢，宝钢研发的第三代高强度钢 Q&P 钢，已实现产业化，但还需要进一步优化开发，提升先进高强度材料的一致性和稳定性。

3. 研发海洋平台用高强度焊接结构特厚钢板

海洋平台是海上油气开采的重要装备。虽然我国大部分海洋平台用钢已经实现国产化，但本体结构关键部位和桩腿，特别是齿条等部件所用的大厚度、高强度、高韧性的焊接结构钢板仍然依靠进口。2009 年后我国开发出部分规格的 600MPa 级海洋平台用齿条钢，开始突破关键部位用高强钢全部依赖进口的局面。但屈服点为 640MPa 以上、低温韧性在 -40°C 以下、能适应 50kJ/cm 以上的大焊接热量输入、厚度大于 120mm 的高品质特殊钢板还需要进口解决。

建议研发 HT50~HT80 高强度钢板，能适应 50kJ/cm 的大焊接热量输入，满足 -40°C 的低温韧性。进一步研发 HT60~HT100 特厚钢板，能适应 100~200kJ/cm 的大焊接热量输入， $-40\sim 76^\circ\text{C}$ 仍具有优良韧性，用于更大型平台以及冰海海域等极寒冷地域平台关键结构的制造。

4. 研发 1400MPa 级及以上高强韧性贝氏体钢轨及辙叉用材

重载铁路对钢轨的使用寿命提出更高的要求，比如重载铁路曲线地段要求钢轨具有高耐磨性能、高抗接触疲劳性能等。为满足铁路发展的要求，建议采用合金化和热处理技术相结合的方式，研制强度等级为 1400MPa 级及以上的高强韧性贝氏体钢轨，