

# 大型铸锻件行业“十二五”规划

## 一 前言：

大型铸锻件制造业是一个非常特殊的行业，既是我国经济建设、发展国民经济的关键性行业，也是我国重大装备制造业的基础，更是我国国防建设必需的产业；是关系到国家安全和国家经济命脉的不可或缺的战略性的行业，也是国家能力的重要组成部分；大型铸锻件行业的发展水平是衡量一个国家综合国力的重要标志。大型铸锻件产品是电力、冶金、石化、造船、铁路、矿山、航空航天、军工、工程等装备的基础部件，其经济带动性强，辐射作用大，是产业链上不可缺少的重要一环。

大型铸锻件在重型机械设备，冶金业中的轧钢设备，电力工业中的发电设备，兵器与航空航天工业，石油、化工、舰船制造、机车车辆等装备中广泛使用。大型铸锻件是重大装备典型的关键零部件，既可独立作为各行业大型设备的备品备件，如轧钢机用热轧支承辊，冷轧工作辊，火力发电机组用无磁性护环等，又可以作为各行各业重大装备的重要受力部件，如火力发电机组中汽轮机高、中、低压转子，汽轮机缸体、水轮机大轴、转轮体，核反应堆压力容器、核反应堆压力壳，飞机用镍基合金涡轮盘等。

重型机械行业深化改革，艰难转型，在激烈的市场竞争中不断发展壮大。跨入新世纪以来，重型机械产业迎来了大发展的新时期，呈现稳步快速发展态势，工业总产值增幅每年都在 30% 左右，经济效益不断提升，全行业主要经济效益指标一年一个新台阶，不断创造历史新高。大型铸锻件分行业在“十一五”前三年得到快速发展，2008 年下半年以来，全球金融危机给大型铸锻件行业企业的生产经营等各项工作带来了较大影响，并且这种影响随着危机的不断加深而越发严重，冶金行业成套产品与配套件市场严重萎缩，部分企业增速减缓。

大型铸锻件行业在“十一五”期间重型机械装备水平和生产能力有了明显提高。2006 年，一重集团公司建成 150MN 自由锻造水压机；2007 年，二重集团公司建成 160MN 自由锻造水压机，并在国家大飞机建设项目的带动下，经国家批准建造 800MN 模锻液压机，设备预计 2011 年投产；2008 年，上海重型机械厂建成 165MN 自由锻造油压机；中信重机的 185MN 自由锻造油压机预计 2010 年建成投产。以上重型锻压设备的陆续建成，大大提升了我国大型、超大型铸锻件生产能力，可望彻底改变我国大型、超大型铸锻件依赖进口的局面。

中国一重投资 23 亿元建设世界一流的铸锻件生产基地，新增 100 吨电炉、160 吨钢包精炼炉及 150MN 水压机等重型设备，预计到 2010 年，将年产钢水 50 万吨、年锻件 24 万吨至 25 万吨、年产铸钢件 6 万吨至 7 万吨，其生产能力等级将会达到“7654”的世界一流制造目标，即：一次性提供钢水 700 吨、最大钢锭 600 吨、最大铸件 500 吨、最大锻件 400 吨，吨位等级产量达到世界第一，解决我国重大技术装备领域对大型铸锻件的需要。可以生产以大型热壁加氢反应器、煤液化反应器为代表的重型容器，以核电反应堆压力容器、蒸发器、稳压器为代表的核岛设备，以三峡叶片及高中低压转子为代表的大型发电设备铸锻件，以特

大型锻钢、铸钢轧辊为代表的工矿配件等大型铸锻件。

中国二重通过改造，新增 150 吨钢包精炼炉、160MN 自由锻造水压机等大型设备，拥有中国最大的碱性酚醛树脂砂造型系统，企业现已具有可一次性冶炼浇注 800 吨级优质钢液、一次性浇注单重 500 吨级以上铸件、600 吨级钢锭、300 吨级锻件的能力。中国二重立足于企业核心竞争力的不断提升，立足于国家综合实力的充分体现，着力推进“一个中心（成都研发中心）、两个基地（德阳制造基地和镇江出海口基地）”建设，通过自身发展和对外合作，通过产品结构调整，快速提升了大型铸锻件制造技术和重大技术装备成套、成线的研发能力、系统集成能力和制造能力。

上海电气重工集团在已有能力和资源基础上，以闵行和临港制造基地为基础，优化产业结构，突破发展过程中的瓶颈制约，整合核电设备原材料生产与核岛主设备制造等优势资源，形成相对紧密的核电产业集团。闵行基地热加工技术改造项目完成后，将全面满足 AP1000 大型铸锻件向超大、超重、高技术发展的要求，实现压力容器、蒸发器、稳压器、堆内构件、主管道等核电主锻件年产 5000 吨的能力。临港基地形成具有承制年产 2 套 1000MW 级压水堆的核岛主设备（压力容器、蒸发器、稳压器等）、1700MW 第三代压水堆常规岛半速机组和 195MW 高温气冷堆压力壳、蒸发器等关键设备的能力。

太重十二五期间瞄准打造国际一流的重型装备集团这一目标，加快实施进入“四个领域”，即：新能源（风电、核电）、高速铁路、煤化工装备和环保产业领域。主要依托临港重型装备制造基地建设项目、高速列车轮对组成关键件国产化项目、重大技术装备大型铸锻件国产化研制项目、风力发电设备项目、大型露天矿半连续开采工艺成套设备项目，实现企业的快速增长与技术提升。

“十一五”期间大型铸锻件行业技术取得显著进步。以 CPR1000 为代表的二代加反应堆压力容器和蒸汽发生器整套锻件已经实现首台套的制造，个别企业实现批量制造；以超超临界高中压转子、超纯净低压转子、超临界汽缸等为代表的火电铸锻件已完成首件试制，部分产品已实现批量化制造；以 AP1000 为代表的第三代核电铸锻件，已有个别产品实现了首件制造，例如：AP1000 锻造主管道等。在大型化方面，实现了 5000mm 轧机用特大型铸件 400 吨级（净重 480 吨）、特大型锻件 200 吨级（净重 226 吨，使用钢锭 450 吨）的制造；实现了核电常规岛发电机半速转子 300 吨级锻件（净重 226.4 吨、锻件重量 320 吨、使用钢锭 560 吨）的首件制造等。钢锭大型化方面取得突出成绩，完成了 300 吨级、400 吨级、500 吨级钢锭的跨域，目前最大钢锭达到 580 吨，制造能力达到世界水平。

## 二 现状与差距（基本情况、“十一五”规划预计完成情况、国内外技术发展趋势、主要差距）；

### （一）“十一五”规划预计完成情况

“十一五”期间大型铸锻件行业集中核心技术力量，把核电铸锻件研发作为技术开发和创新的重点，进行了大量的研究开发工作，特别是围绕二代加和第三

代核电铸锻件的国产化研制，从冶炼、锻造成形、热处理、机械加工、焊接、无损检测等方面，做了大量的试验研究工作，取得了一大批突破性的攻关成果，形成了一批具有知识产权和诀窍的专有技术。一重实现批量制造二代加反应堆压力容器和蒸汽发生器整套锻件，二重实现首台套的制造与部分锻件的批量制造，二重生产的核电管板等关键零部件的质量合格率在行业内处于领先地位。2008 年至今，一重、二重已经交付和正在生产的核电设备材料涵盖 CPR1000 所有锻件。第三代大型核电铸锻件也实现了单件产品研制的突破。例如：一重研制成功 AP1000 核电蒸汽发生器锥形筒体锻件，二重 2009 年底率先在世界上成功完成了 AP1000 锻造主管道试制件的制造。

“十一五”期间大型铸锻件行业十一五科技支撑项目取得丰硕成果，针对超超临界火电机组对大型铸锻件国产化的迫切需求，开展的“大型火电机组关键铸锻件制造技术研究”等项目工作，开展制造关键技术的研究，攻克多项关键制造技术，10%Cr 型高中压转子、3.5%NiCrMoV 超纯净低压转子、9%-12%Cr 型汽缸体及燃气-蒸汽联合循环机组高低压复合转子、12%Cr 型汽缸体等产品已成功生产。一重、二重等企业 10%Cr 型高中压转子、3.5%NiCrMoV 超纯净低压转子和 9%-12%Cr 型汽缸体实现了小批量制造。

“十一五”期间冶金设备铸锻件与备件制造方面也取得显著进步。例如：一重 2006 年成功浇注净重 480 吨鞍钢 5500mm 宽厚板轧机牌坊（长 15910×宽 4671×高 2200mm 5 包合浇）；中信重工采用 10 炉冶炼 6 包合浇的方式一次性组织 829.5 吨精炼钢水，成功浇铸了毛坯总重达 520 吨的油压机上横梁（长 11950×宽 3800×高 4590mm），这是目前世界上一次组织钢水最多的特大型铸钢件。二重成功制造 226 吨 5500mm 宽厚板轧机支承辊（使用钢锭 450 吨）。在石化容器制造方面，一重 2008 年制造了 1600 吨加氢裂化反应器（长度：46337×直径 5373mm），该设备为在企业出厂前最重容器。二重“十一五”期间大型容器制造方面取得加大进步，随着重型容器一期的逐步达产与二期改造的完成，千吨级重型压力容器的制造与批量制造成为可能。

“十一五”期间大型模锻件制造技术有了显著提高，以大运飞机约 1 m<sup>2</sup> 钛合金整体框为代表的模锻件相继制造成功，标志着大型模锻件制造技术上上了一个新台阶。“十二五”期间随着 800MN 大型模锻压机、200MN 模锻压机的相继建成投产，相信，模锻件大型化与制造技术会有更大提升。

随着船舶吨位的巨型化，船用铸锻件制造技术进步明显，90 机型与 98 机型锻件实现了首件或部分批量制造。其它方面，中信重机 2008 年成功浇铸世界最大球磨机齿轮（Φ7900×12000mm、375 吨钢水）等。

## （二）国外技术发展趋势

世界上大型铸锻件的生产能力主要集中在日本、韩国、欧洲和中国。日本每年锻件生产量在 75 万吨左右，韩国产量在 90 万吨左右。国际上在大型铸锻件生产制造方面处于先进水平的企业主要有日本制钢所室兰制作所（JSW）、日本铸锻钢公司（JCFC）、日本的神户制钢、韩国的斗山重工（DOOSAN）、法国的克鲁索

(Creusot-Loire Industrie) 等。据大量的市场调研和相关资料介绍, 以上国外厂家, 不仅有先进的装备, 还有先进的工艺技术, 在大型铸锻件的制造能力和技术水平上处于国际领先地位, 各自的主打产品在国际市场上占有绝对的竞争优势和市场份额。

日本制钢所 (JSW) 室兰制作所整体技术水平世界领先, 具有制造 1000MW 以上能级核电站压力容器的能力和技术, 装备有 100t 电炉、120t 超高功率电炉、150 吨钢包精炼炉 (3 台)、100 吨电渣重熔炉、80/100 MN 水压机 (240t-m 操作机, 带激光测长)、120MN 专用筒节油压机等重型设备, 最大钢锭生产能力为 600 吨。JSW2006 年锻钢产品产量为 8 万吨, 2007 年为 7.7 万吨, 2008 年达到 8 万吨 t, 2009 年达到 9 万吨, 预计 2010 年将达到 12 万吨。自 1970 年至 2003 年底, 共生产各种等级的核电压力容器、蒸发器和稳压器等产品的封头、法兰、筒体等大型锻钢件 1320 多件。日本制钢所 (JSW) 室兰制作所具有制造百万千瓦级以上核电站压力容器的能力和技术。在 20 世纪 70 年代初, 就已经掌握了大直径筒体的体外锻造技术。1986 年, 采用钢包精炼炉生产了第一支 600 吨钢锭, 且钢中 P、S、Si、Mn 及微量有害元素含量极低。在 20 世纪 70 年代中期, 研发了带接管段筒体的锻造工艺技术。2000 年, 核电容器的封头和连接法兰采用整体锻造工艺技术进行生产, 使封头制造工艺得到优化, 也增强了核电装备的安全性能, 同时大大缩短了制造时间, 节约了大量的材料和能源、制造成本。

日本制钢所 (JSW) 室兰制作所能成熟生产 600 吨钢锭 (已生产过 64 支 600 吨钢锭, 600 吨钢锭平均直径 4130mm), 130 吨超低碳不锈钢锭, 最大锻件 350 吨, 最大不锈钢锻件 210 吨、最大铸件 430 吨。2000 吨级加氢反应器。200 吨锻钢支承辊。生产 12%Cr 超超临界、超临界机组高中压转子、超纯钢低压转子、缸体; 1000MW 级大型核电机组铸锻件; 燃气轮机轮盘、叶轮; 风电叶片、主轴、蒸汽-燃气联合循环机组高低压复合转子; 超导发电机铸锻件; 2000 吨级加氢反应器; 包括高铬轧辊在内的各种优质轧辊; 模具材料; 轧机用大型机架、轴承座; 氢合金; 垃圾处理设备等。

日本铸锻钢公司 (JCFC), 1970 年由新日铁和三菱共同投资。主要设备有: 100 吨电炉、150 吨钢包精炼炉 (3 台)、90 吨 VOD 炉、80/100 MN 水压机 (240t-m 操作机, 带激光测长) 等。主要产品及份额为: 发电站用汽轮机转子公司总产量的 54%, 重型组合曲轴和其它一般锻件占总产量的 16%, 轧辊占总产量的 17%, 其它用于各种工业设备的一般锻件占总产量的 13%。技术水平: 最大能够生产 510 吨超纯钢钢锭。最大锻件 300 吨, 最大铸件 330 吨, 最大不锈钢铸件 150 吨。可生产高铬轧辊, 1000MW 级的核电铸锻件, 600MW 级及以上的超超临界机组火电铸锻件, 联合循环机组高中压整体转子, IN 706 燃气轮机轮盘, 超纯钢燃气轮机叶轮, 大型船用曲轴、传动轴等。2006 年锻钢生产为 4.9 万吨, 2007 年为 5 万吨, 2008 年到 2010 年维持这个水平。

日本神户制钢所最大钢锭生产能力为 500 吨。主要产品结构为: 柴油机曲轴占总产量的 55%, 船用螺旋桨轴和中间轴占总产量的 15%, 轧辊、模具、压力

容器等其他产品占 35%。其中神户制钢生产的中速发动机整体曲轴和低速发动机组合曲轴占了整个世界市场份额的 40%。2006 年锻件生产为 8 万吨, 2007 年为 8.2 万吨, 2008 年达到 8.6 万吨, 预计 2010 年达到 11.5 万吨。投资计划之后锻钢生产能力将从目前的每年 8.6 万吨 增加到每年 12 万吨, 低速柴油机组合曲轴的生产将从每年 360 根增加到 540 根。

韩国斗山重工集团 (DOOSAN) 生产能力世界最大, 2007 年锻件产量为 12 万吨, 2008 年达到 14 万吨, 最大钢锭生产能力为 500 吨。拥有 120 吨电炉, 85 吨电渣炉, 155 吨钢包精炼炉, 130MN 压机 (400t-m 操作机) 等重型设备, 斗山重工的钢水全部要经过钢包精炼, 因此钢水的纯净度很高, 对于较大型的钢锭全部采取真空浇注。斗山重工是继日本制钢所、日本铸锻钢和神户制钢所以后, 在世界上能够生产 500 吨大钢锭的又一个大公司。具有代表性的产品是电站整体低压转子用超纯钢, 牌号为 3.5%NiCrMoV, 化学成份: P<0.004%, S<0.002%, Si 0.02%, Mn 0.02%, 已达到世界先进水平, 这类低压转子钢的最大钢锭已达到 500 吨, 用于制造 1000MW 核电低压转子锻件, 交货重量为 170 吨, 直径大约  $\Phi 2700\text{mm}$  左右。在压力容器的制造上 (包括核电站用反应堆压力壳、化工加氢反应器) 也有很强的实力和业绩。

克鲁索锻造曾是世界有名和法国最强的核电锻件生产企业。被 Essor 集团公司收购后更名为克鲁索锻造, 与同时被收购 U. I. G. M 工厂组成 SfarSteel1 公司, 新公司可完成包括核反应堆在内的大型核电设备从原材料到加工组装一整套制造过程, 能够生产 1300MW 级核反应堆成套的铸锻件, 形成强大的核电设备的制造、加工和组装的成套能力。其中世界大型核电锻件市场的占有率为 40%。石油精炼器大型锻件国际市场的占有率为 28%。主要产品有核电压力容器、蒸发器、堆内构件、主管道及常规岛汽轮机转子, 大型石化精炼反应器、加氢反应器等。该公司以生产下注钢锭和空心钢锭见长, 特别是空心钢锭技术处于世界最先进地位。

近年国外同行都在积极应对旺盛的市场需求带来的机遇和挑战, JSW 斥巨资进行更新改造, 法玛通并购克鲁索等都是具体应对举措。

### (三) 国内大型铸锻件行业主要企业技术进步与技改等情况

我国能够提供大型优质铸锻件的主要企业是一重、二重和上重。2007 年一重锻件产量 11 万吨, 二重 7 万吨, 上重 5 万吨。在劳动生产率方面, 国内企业与国外先进企业仍有较大差距。在技术水平方面, 中国企业也有一定差距, 部分大型、复杂铸锻件尚未攻关成功, 只能依靠进口。在生产能力上, 也无法满足国内旺盛的市场需求。如火电设备汽轮机、发电机每年需要的转子几百根, 前几年 80%以上都依靠进口。我国重型装备制造的龙头企业大锻件制造的材料利用率也远远落后于世界先进水平, 我国锻件材料利用率为 50~55%, 而韩国为 60~65%, 日本则高达 70~75%。这主要是由于锻造工艺的落后和零件分体锻造比例较多导致的。

为了满足和适应我国核电发展战略, 尽快突破大锻件制造的瓶颈, 国内一重、

二重、上重都已经进行大规模的系列化改造，建造新的大型水压机和锻造操作机，提高我国大型铸锻件的制造能力和技术水平，以满足国家核电发展战略需要和加强先进制造业的核心竞争力。随着操作机的配备，锻件的形状精度有望得到良好的控制，锻造节奏将大大加快，锻造过程加热次数有望减少，这将有助于减少后续机械加工工作量、提高材料利用率、节省能源和避免由于多次加热而导致的晶粒粗大等内部质量问题，同时也对有操作机条件下的大锻件成形制造工艺的研究提出了迫切要求。

### 1 一重“十一五”期间技改、技术进步情况及“十二五”发展目标

“十一五”期间，一重确立了“成长持续化、管理集团化、市场国际化、技术产业化”的“四化”发展战略目标，明确了企业未来发展的地域性战略布局，即在富拉尔基建成世界一流的铸锻钢基地，在大连建成世界一流的核电石化容器制造基地，在天津建成世界一流的成套设备基地。

一重“十一五”期间在炼钢方面新增 100 吨电炉和 160 吨钢包精炼炉及 6 个 350 吨真空铸锭室，在锻造方面，新增 150MN 水压机（配 630t·m 锻造操作机）、新增筒节轧机，12500 吨水压机配 400t·m 锻造操作机；在大型轴类件热处理及机械加工方面，新增 2 台 400 吨重型卧车，新增 2 台 300 吨重型卧车等重型设备。基本能力目标为到“十一五”末期，通过技术创新，使一重制造等级达到“7654”，即一次提供钢水 700 吨，最大钢锭 600 吨、铸件 500 吨、锻件 400 吨；为把富拉尔基建设成为世界最大的铸锻钢基地、大连棉花岛建设成为世界级的核岛主设备及大型石油化工容器制造基地、把天津滨海基地建设成为重型成套装备基地提供强有力的技术支撑。实现大型成套设备技术总负责和系统集成，并具备工程总承包能力，重大技术装备新领域技术攻关取得重大突破。

一重“十一五”期间承担了“国家高档数控机床与基础重大装备专项”3 个课题，即“大型铸锻件制造工艺-大型高质量铸件的材料冶炼与成型控制技术”、“大型铸锻件制造工艺-大型铸锻焊件的加工工艺和质量控制技术”、“大型铸锻件超声波自动检测技术”，并作为合作单位参与了 7 项课题。

一重“十一五”期间核电大型铸锻件制造技术研究成果显著，二代加核电锻件已实现批量生产，第三代 AP1000 核电锻件研制取得了突破性进展，具备年产 5 套核电压力容器批量生产能力，并形成稳定的生产线；常规岛低压转子研制工作正在进行中；大型先进压水堆重大专项完成了阶段性任务；完成堆内构件制造技术试验室研究，并开展工业性试验；研制成功 AP1000 核电蒸汽发生器锥形筒体锻件。

火电大型机组铸锻件制造技术，具备年产 300MW 以上转子 240 支的产能和技术。超超临界机组超纯低压转子和 12%Cr 转子研制成功，掌握水电大型机组铸锻件制造技术，具备年产 5 套 700MW 以上机组成套铸锻件的产能和技术，大型上冠、下环可批量生产。

大型轧辊、石化容器、曲轴曲拐等已可稳定批量生产。五米轧机支承辊研制工作正在进行中；国内最大管壳式大型换热器研制成功；90 机型用曲轴试

制认证完成。

一重“十二五”科技发展规划目标是：继续强化四大支柱-大型铸锻件、冶金设备、石化设备、电站设备，延伸产业链，统筹配置资源，走成套化和批量化道路，向有国际竞争力的企业集团迈进。

## 2 二重“十一五”期间技改、技术进步情况及“十二五”发展目标

近十年来二重集中公司的核心技术力量，把核电铸锻件研发作为企业技术开发和创新的重点，进行了大量的研究开发工作，特别是围绕二代加和第三代核电铸锻件的国产化研制，从冶炼、锻造成形、热处理、机械加工、焊接、无损检测等方面，做了大量的试验研究工作，取得了一大批突破性的攻关成果，形成了一批具有二重知识产权和诀窍的专有技术，已经在批量制造二代加反应堆压力容器和蒸汽发生器整套锻件。仅 2008 年至今，二重已经交付和正在生产的核电设备材料涵盖 CPR1000 所有锻件。特别是今年 5 月，二重成功地锻造出我国第一支 EPR1000 的百万千瓦级核电发电机半速转子，实现了中国百万千瓦级核电转子自主化、国产化零的突破；中国二重生产的核电管板等关键零部件的质量合格率在行业内处于领先地位；在 2009 年底率先在世界上成功完成了 AP1000 主管道整锻制造。为此，在国家科技部下发的《关于发布国家自主创新产品试点结果的通知》中，二重自主研制的核电大锻件被认定为“首批国家自主创新产品”。

中国二重通过改造，新增 150 吨钢包精炼炉、160MN 自由锻造水压机等大型设备，企业现已具有一次性生产 7 0 0 吨级钢水、一次性浇注单重 5 0 0 吨级以上铸件、60 0 吨级钢锭、3 0 0 吨级锻件的能力。

二重承担十一五科技支撑项目“大型火电机组关键铸锻件制造技术研究”项目等工作，针对超超临界火电机组对大型铸锻件国产化的迫切需求，开展制造关键技术的研究，攻克多项关键制造技术，10%Cr 型高中压转子、3.5%NiCrMoV 超纯净低压转子、9%-12%Cr 型汽缸体及燃气-蒸汽联合循环机组高低压复合转子、12%Cr 型汽缸体等产品已成功生产。1100MW 核电半速发电机转子也已成功生产。二重自主制造的主管道 1: 1 模拟件综合技术指标已完全符合美国西屋公司的设计技术标准。AP1000 主管道热段弯管是第三代核电站核岛的关键部件，钢种为超低碳控氮不锈钢，对钢的化学成分和纯净度要求苛刻。模拟件的成功研制标志着我国装备制造业基本掌握了第三代核电 AP1000 整体锻造主管道制造关键技术。

2010 年初，二重与国核工程公司签订第三代核电 AP1000 自主化依托项目三门核电站 1 号机组和海阳核电站 1 号机组主管道采购合同，这是我国加快推进第三代核电自主化的重大突破，也是对中国二重第三代核电 AP1000 大型铸锻件制造能力和技术实力的充分认可。

二重完成的“三峡 700MW 机组大型铸锻件研制”项目，通过自主研究，掌握了大型水电机组不锈钢铸件的关键技术，如：大型铸件成型过程数值模拟技术，大吨位超低碳不锈钢精炼和成分精确控制技术，大型水电铸件的内部质量和缺陷控制技术，热处理组织和高力学性能保证技术，大型叶片的型线检测技术等。二

重完成了三峡 700MW 机组上冠、下环的研制，连同已经形成的水轮机叶片和导叶的批量生产能力，完全具备了 700MW 及以上大型水电机组关键铸件的成套制造能力。

2001 年，二重在国内率先完成了三峡左岸首件叶片的国产化研制并通过了国务院三峡办组织的技术鉴定，其后，又完成上冠铸件研制。2009 年完成三峡地下机组 2 件上冠、1 件下环、13 件叶片和 18 件电渣熔铸活动导叶的研制。2009 年 6 月，二重用电渣熔铸制造的三峡地下机组活动导叶通过了国务院三峡办组织的技术鉴定。近年开发的铸造新产品有：600MW 以上超超临界汽缸体和阀体、1000MW 和 1750MW 核电汽缸体、700MW 大型上冠、下环、叶片。

二重未来五年发展的战略目标：

立足于企业核心竞争力的不断提升，立足于国家综合实力的充分体现，着力推进“一个中心（成都研发中心）、两个基地（德阳制造基地和镇江出海口基地）”建设，以拓展国内外装备市场为战略着眼点，通过自身发展和对外合作，主导产品的质量和技术水平达到同期国际先进水平，快速提升大型装备的成套制造技术和重大技术装备成套、成线的研发能力、系统集成能力和制造能力，具备与国际先进大公司抗衡的能力。

形成年产 5 套第三代核电重型压力容器锻件的生产能力，其中 3 套为包含压力壳、蒸汽发生器、稳压器、支撑件及核电主管道在内的全套核电锻件。到 2013 年，形成年产风电增速箱 2500 台及风电主轴和转轴 2500 根的生产能力。

### 3 上重“十一五”期间技改、技术进步情况及“十二五”发展目标

“十一五”期间上重在原有 80 吨钢包精炼炉，200 吨电渣重熔炉（最大电渣重熔钢锭 205 吨）的基础上，新增 100 吨电炉、120 吨钢包精炼炉、450 吨电渣重熔炉、500 吨真空室、165MN 自由锻压力机（配 630 吨米锻造操作机）等设备，制造能力与水平得到较大提升。

上重“十一五”期间重点研究内容包括核电核岛大型铸锻件（主要为二代加、高温堆、AP1000 示范工程）、大型半组合船用曲轴锻件、大型火电及核电常规岛大型铸锻件和冶金轧钢设备大型铸锻件等四类大型铸锻件关键技术的自主研发与试制。初步掌握了二代加核容器大锻件的制造工艺技术，并在生产中不断改进完善；三代 AP1000 大锻件正按攻关目标有计划推进。完成了 300MW、600MW 低压转子制造工艺技术的研发。完成了 25 吨曲轴锻件下注钢锭的工艺技术开发。完成了 4300mm 宽厚板轧机 2.5%Cr 支承辊 300 吨电渣重熔钢锭、350 吨双真空钢锭的冶炼与浇注；5%Cr 带钢支承辊已进入批量制造。核电大钢锭等级从 200 吨级提升到 500 吨级。

上重从 2008 上半年开始申报并同步实施了国家大型先进压水堆核电站重大专项二项主课题：AP1000 堆内构件制造技术和 AP1000 控制棒驱动机构制造技术。旨在与第二代改进型核电堆内构件和控制棒驱动机构作比较，在产品结构和技术指标上有差异部分进行科技攻关，目标是实现第三代核电 AP1000 堆内构件和控制棒驱动机构实现制造国产化。目前二项项目均已进行原材料、技术文件准备和



工装的设计制造阶段。

上重“十二五”企业技术发展总体目标是：以科技创新为动力，以提升核心竞争能力为关键，以员工队伍建设为根本，加强两个基地的建设，突出核电核岛成套设备、大型铸锻件、大型船用曲轴等三大产业的发展，加快推进三大产业的新技术产业化，将上海电气重工集团建设成为“国内领先，具有国际竞争力”的可持续发展的重型装备制造集团。

#### **4 中信重工机械股份有限公司“十一五”技改情况及现状**

中信重机公司实施了以“新重机工程”为重点的技术改造项目，包括重型冶铸工部、重型锻造工部，重型铸铁工部，重型加工工部和重型热理工部的建设。冶铸基地建设项目：2008年3月竣工投产，主要设备有80吨电弧炉、150吨钢包精炼炉（VD）炉、150吨钢包精炼炉（VOD）炉等。锻造基地建设项目：新上了185MN油压机和750t·m锻造操作机、250t·m锻造操作机等主要设备。“新重机工程”预计2010年建成投产，将具备一次实现精炼钢液900吨，最大钢锭600吨，最大铸钢件600吨，最大锻件400吨，最大铸铁件200吨的生产能力。

中信重机公司公司拥有80吨、50吨、30吨偏心底电弧炉各一台；，60吨钢包精炼炉一台、150t钢包精炼炉二台；100吨、200吨、300吨、600吨真空浇注设备共10台。能够生产包括矿山、建材、冶金、电力等在内的大型磨机端盖、中空轴、齿圈、回转窑轮带、托轮、轧机牌坊、船用铸钢件、不锈钢铸件等。

2008年5月，中信重工采用10炉冶炼6包合浇的方式一次性组织829.5吨精炼钢水，成功浇铸了毛坯总重达520吨的上横梁。这件油压机上横梁长11950mm，宽3800mm，高4590mm，毛坯总重达520吨。这是目前世界上一次组织钢水最多的特大型铸钢件。

锻造方面，该公司拥有84MN、31.5MN、16MN自由锻水压机，RAW200/200-5000/750高精度大型轧环机等大型锻压设备；将于2010年投产了世界最大的185MN自由锻油压机。可为能源、化工、冶金、航空航天等领域提供最大单件重量达到350-400吨的自由锻件。

#### **5 大连重工·起重集团有限公司发展概况**

大连重工·起重集团有限公司（华锐重工）是国内大型高端铸件产品生产基地，其产品广泛服务于电力、船舶、冶金、石化等行业，主要有电站产品（汽轮机高中压外缸、内缸、各种阀体，水电上冠、下环、叶片，各种阀体，燃汽轮机汽缸等）；船用件产品（挂舵臂、舵杆承座、舵销承座、尾柱、尾销等）；兆瓦级风电轮毂、底座及各种冶金车辆铸件、装卸机械铸件、轧机铸件等。新开发了船用螺旋桨等新产品，正在研发核电站主泵泵壳新产品。拥有100吨钢包精炼炉、50MN油压机等大型设备。大型铸件年生产能力达3万吨，可一次提供300—360吨真空冶炼的优质纯净钢水，最大铸件单重180—200吨。大型船用曲轴国产化研制工作，截止目前，50—90型曲轴已累计出产32支。公司已具备了年产70支船用曲轴的能力。

#### **（四）主要差距**

面对市场对大型铸锻件的旺盛需求，一重、二重、上重等多家大型铸锻件生产企业都明显准备不足。据介绍，2007 年，中国对 300MW 以上机组的汽轮机、电机的低压转子需求约在 210 根左右，但一重由于生产能力所限，只提供了 8 根，而二重和上重加起来也不到 8 根，其余的只能靠进口解决。近年虽然有所好转，但总体趋势未变。而进口的大型铸锻件交货期长，价格一般比国内高 30%-50%。

在制造能力不足的同时，中国企业在高端大型铸锻件的研发能力与国外也存在较大差距，尤其是在代表大型铸锻件最高水平的核电设备方面，国外对中国实行技术封锁，不仅不转让大型铸锻件的制造技术，而且还不提供其成品锻件，导致我国一些已开工的电站工程项目严重拖期。

根据规划，到 2020 年，我国核电站将有 30000MW 机组立项建设，但国内核电大型铸锻件的制造技术水平还不能满足这样的建设需求。由于制造水平的差距，我国从 2005 年开始就第三代核电的技术引进与国外进行谈判，但无论是二代加的 CPR1000、还是从美国引进的 AP1000、从法国引进的 EPR 等百万千瓦核电，都在大型铸锻件的引进方面遇到了问题。尤其是近期掌握世界核电大型铸锻件最高制造技术的日本非但不转让大型铸锻件的制造技术，还提出诸多附加条件，不提供其成品锻件，导致我国早就与国外订了锻件合同的红沿河等核电项目严重延期。

第三代 AP1000 大型先进压水堆核电站是目前世界范围内二代、二代加核电站更新换代的机型，是目前世界公认的最先进的百万千瓦级核电技术之一，但 AP1000 对核心设备中关键部件的要求也更高、更为苛刻。三门核电站 1 号机组和海阳核电站 1 号机组便是首批第三代核电 AP1000 自主化依托工程，三门核电站 1 号机组更是世界首座 AP1000 核电机组。

在首批第三代核电 AP1000 自主化依托工程中，主管道是我国唯一没有引进国外技术的核岛关键设备，由于主管道是连接反应堆压力容器和蒸汽发生器的大型厚壁承压管道，是核蒸汽供应系统输出堆芯热能的“大动脉”，也是保证核安全的关键设备，性能要求很高。AP1000 技术更将主管道由二代、二代加不锈钢分段铸件焊接形式改成了不锈钢整锻带管嘴一体化形式，制造难度极大，AP1000 主管道在世界范围内没有成功的先例。

### **三、 市场需求特征及发展预测（相关行业发展概要、市场容量与需求特征、“十二五”需求预测）**

#### **（一）大型铸锻件“十二五”市场需求预测**

据预测，全球经济可望于 2011 年转入复苏阶段，我国经济的复苏可能提前到 2010 年，因此，“十二五”期间的重型机械市场需求总体上仍然看好。近年来，大型铸锻件需求兴旺，特别是核电铸锻件、超临界汽轮机机组铸锻件。

据预测，未来几年，我国电力、石化、冶金、船舶等行业的发展将对大型铸锻件产业发展起巨大拉动作用。

根据尚未颁布的国家发改委《新能源产业振兴规划》，对核电中长期发展规划作了进一步调整，即在原规划到 2020 年达到 40000MW 的装机容量上扩容

30000MW，达到 70000MW，力争 2020 年核电占电力总装机的比例达到 5%以上。如果一套 1000MW 压水堆核电机组核岛部分的主要组成件按 3 亿元计算，对大型铸锻件产品需求将达几百亿元。据分析，2020 年前，全球每年至少需要二十多套核电锻件，因此，未来核电大型铸锻件市场前景广阔。

在电力领域，未来几年我国电力火电装机按每年 50000MW 计算，每台大型燃煤机组需要大型锻件 200 吨计算，预计每年火电锻件年均需求量 2 万吨左右。按水电发展规划，如每年平均新装 30 台 500MW 及以上大型水电机组，按照每台大型水电机组需要大型锻件 200 吨至 240 吨计算，预计每年水电锻件年均需求量 7000 吨左右。火电与水电机组大型铸锻件需求预计在 2.7 万吨左右。

在石化装备领域，预计我国原油加工能力到 2010 年达 4 亿吨，2020 年达 5 亿吨左右，将新建和改造 20 多个千万吨级大型炼油厂。加上大型加氢反应器的需求量的增加，预计每年需锻焊结构的厚壁重型容器 30 台左右。煤化工装备方面，随着神华集团的我国第一座年产油品 500 万吨的煤液化工程建设，其他地区煤制油基地建设也将启动。预计锻焊结构重型容器市场将有每年 40 台的需求。锻焊结构重型容器市场总计需求 70 台左右。

我国低速船用柴油机制造企业有：沪东重机、三井造船、大连船用柴油机厂、宜昌船舶柴油机厂、合肥熔安动力机械有限公司、青岛齐耀瓦锡兰菱重麟山船用柴油机有限公司、镇江中船设备有限公司、无锡市安泰动力机械有限公司该公司等。根据预测，2010 年大型船用低速柴油机产量将达到 400 台以上。目前国内企业制造能力仍然不足，市场需求广阔。

## **（二） 相关行业发展概要**

### **1 冶金行业发展概况**

我国是钢铁材料生产和消费大国，粗钢产量连续 13 年居世界首位。2008 年，粗钢产量达到 5 亿吨，占全球产量的 38%，国内粗钢表观消费量 4.53 亿吨；直接出口折合粗钢 6000 万吨，占世界钢铁贸易量的 15%。2007 年，规模以上钢铁企业完成工业增加值 9936 亿元，占全国 GDP 的 4%，实现利润 2436 亿元，占工业企业利润总额的 9%。

2008 年下半年以来，随着国际金融危机的扩散和蔓延，我国钢铁和有色金属产业受到严重冲击，出现了产需陡势下滑、价格急剧下跌、企业经营困难、全行业亏损的局面，冶金产业稳定发展受到前所未有的挑战。

当前，由于国际、国内两个市场需求下滑，我国钢铁产业产能已严重过剩。截至 2008 年底，粗钢产能已达 6.6 亿吨，超出实际需求约 1 亿吨；某些先进技术、高端产品研发和应用仍要依靠引进和模仿。应当看到，钢铁产业在经历了长期粗放型扩张后，必然要进行一次大的调整。这种调整对冶金机械，特别是技术含量高的高端产品技术水平提出了新的要求。

2009 年度发布的钢铁产业调整和振兴规划目标是：力争在 2009 年遏制钢铁产业下滑势头，保持总体稳定。到 2011 年，钢铁产业粗放发展方式得到明显转变，技术水平、创新能力再上新台阶，综合竞争力显著提高，支柱产业地位得到

巩固和加强，步入良性发展的轨道。“十二五”期间，预计钢铁产业将严格控制产能总量，加快淘汰落后产能，严格控制新增产能。

2010 年冶金行业有所复苏，但总体形势仍然不够乐观。随着冶金行业的复苏，“十二五”期间冶金行业成套设备与备品备件大型铸锻件市场逐渐向好。

## 2 电力制造行业发展概况

“十一五”期间电力制造行业得到快速发展。其中核电与风电在国家的政策指导下更是得到飞跃式发展与进步，火电与水电略有增长。

从电力供应情况来看，新增发电能力保持较大规模，电源结构明显得到优化。统计显示，2008 年全国新增电力装机 90510MW，其中三峡最后七台机组等一大批水电站投产，全年共增加水电装机 20100MW，占全部投产机组的 22.21%，是我国投产水电最多的一年；风电装机新增 4660MW，发电总量达 128 亿千瓦时，同比增长 126.79%；火力新增规模比重持续降低，新投产 1000MW 机组四台，单机容量 600MW 及以上火电机组占新投产容量比重高达 63.11%。

目前，火力发电仍是我国电力发展的主力军。2008 年我国电力装机构成中，火力发电约占 76%，其中燃煤机组占火力发电总量的 98%，不仅消耗了大量资源，还给环境和运输带来了巨大压力。要想实现电力工业的健康可持续发展，我国必须尽早解决制约电力发展的瓶颈问题。

经过 30 年的发展，我国核电建设也有了飞速发展，目前投入运行的 11 台核电机组装机容量约为 910 万千瓦，在建的 24 台核电机组装机容量约 25400MW。核电自主研发和建设能力也不断提高，实验快堆、高温气冷堆、热核聚变装置等一系列科研工程项目正在积极推进。可再生能源发电技术达到了新水平，风力发电、太阳能光伏发电建设步伐进一步加快，目前国内已经能够生产 1.5MW 的风机，两个兆瓦级太阳能光伏电站并网发电已经在深圳、上海开始试运行。

2006-2010 年。“十一五”期间，全国新增风电装机容量约 4000MW，平均每年新增 800MW，2010 年底累计装机约 5000MW。2020 年规划目标是 30000MW，风电在电源结构中将有有一定的比例，届时约占全国总发电装机 10 亿 kW 容量的 3%，总电量的 1.5%。2020 年以后随着化石燃料资源减少，成本增加，风电则具备市场竞争能力，会发展得更快。2030 年以后水能资源大部分也将开发完，近海风电市场进入大规模开发时期，风电装机容量将会超过 1 亿 kW。

## 3 石化行业发展概况

近年来，在国家各项鼓励和扶持政策的大力推动下，我国石化行业发展迅猛，向着规模化、一体化、专业化方向发展，对设备的性能、质量、供货周期等也提出了更高的要求。设备制造企业也保持了较好的发展，技术水平、生产能力不断提高，以满足市场需求。

在石化装备领域，预计我国原油加工能力到 2010 年达 4 亿吨，2020 年达 5 亿吨左右，将新建和改造 20 多个千万吨级大型炼油厂。加上大型加氢反应器的需求量的增加，预计每年需锻焊结构的厚壁重型容器 30 台左右。煤化工装备方

面，随着神华集团的我国第一座年产油品 500 万吨的煤液化工程建设，其他地区煤制油基地建设也将启动。预计锻焊结构重型容器市场将有每年 40 台的需求。

随着石化产业调整振兴规划等一系列更大力度的政策措施的出台和落实，必将扭转石化行业增速下滑的趋势，2009 年石化行业经济运行呈现“前低后高”走势。随着陆续密集出台的八大产业振兴规划，撬动中国经济新支点的产业调整与振兴框架已经初露端倪。以振兴规划为蓝本的发展战略将促进石化行业的新一轮大发展。未来时期内，石化产业增长速度将与国民经济总体发展速度相协调，增加值年均增长 15% 左右，到 2011 年增加值达到 1.75 万亿元，产业结构和布局调整基本完成。

2009 年发布的石化产业调整和振兴规划目标是：2009~2011 年，石化产业保持平稳较快增长。2009 年力争实现平稳运行，经过三年调整和振兴，到 2011 年，产业结构趋于合理，发展方式明显转变，综合实力显著提高。

#### **4 船舶工业发展概况**

2003 年以来，我国船舶工业进入了快速发展轨道。产业规模不断扩大，造船产量快速增长，造船完工量、新接订单量、手持订单量已连续多年居世界前列。综合实力稳步提升，已经具备散货船、油船、集装箱船(以下称三大主流船型)自主开发能力，在高技术高附加值船舶、海洋工程装备领域也实现了突破，大型船舶企业造船周期和质量管理达到国际先进水平。我国已经成为世界造船大国。但是，船舶工业在高速发展的同时，自主创新能力不强、增长方式粗放、低水平重复投资、产能严重过剩、船用配套设备发展滞后、海洋工程装备开发进展缓慢等矛盾日益显现。2008 年下半年以来，受国际金融危机影响，国际航运市场急剧下滑，造船市场受到很大冲击，新船订单大幅减少、企业融资出现困难、履约交船风险加大，我国船舶工业发展面临严峻形势。

经过多年的发展，我国船舶工业已经形成了原材料配套强、劳动力素质高、制造业体系完备等综合竞争优势，世界造船业正逐步向我国转移，我国船舶工业发展前景依然十分广阔。

船舶工业调整和振兴规划目标中对配套能力提出了要求。即三大主流船型本土生产的船用配套设备的平均装船率达到 65% 以上，船用低速柴油机、中速柴油机、甲板机械等配套设备的国内市场满足率达到 80% 以上。同时提出了加快报废更新老旧船舶和淘汰单壳油轮，积极发展远洋渔船、特种船、工程船、工作船等专用船舶；发展海洋工程装备等措施。以上措施将增大大型铸锻件的需求。

### **四、“十二五”发展目标、战略思路和政策措施**

#### **(一) “十二五”我国大型铸锻件发展目标**

我国“十二五”大型铸锻件行业发展的总体目标：振兴大型铸锻件行业，提高我国大型铸锻件行业的创新能力，提高大型铸锻件产品的技术水平和成套能力，提高生产技术和装备现代化，提高大型铸锻件生产的集约化生产程度和管理水平，提高整个行业的经济运行质量和经济效益。

坚持科学发展观，以国家中长期产业发展战略为导向，通过对核电核岛大型

铸锻件、大型火电及核电常规岛大型铸锻件、大型模锻件、冶金设备大型铸锻件、其它大型铸锻件与基础研究等五类大型铸锻件关键技术的自主研发；针对特大型双真空钢锭的冶铸技术、特大型钢锭的高纯净度和均质性技术、超低碳不锈钢电渣锭重熔技术、特大型直径锻件锻透压实技术、特大不锈钢锻件锻造技术、特大特厚及结构复杂锻件的锻透与成形技术、马氏体不锈钢的性能热处理技术等方面进行研究；突破 AP1000 核电成套设备、1000MW 汽轮机超临界超超临界机组、大型船用曲轴、5000mm 特大型支承辊及大型航空航天整体模锻件等大型铸锻件制造技术。打破国外大型铸锻件制造技术垄断，实现大型铸锻件制造技术的提升，增强行业的国际竞争能力。形成大型铸锻件生产制造能力和产业化规模，创造良好经济和社会效益。

## （二）“十二五”我国大型铸锻件发展战略思路

振兴装备制造业是提高我国核心竞争力，增强综合国力的有利保障；是推动产业结构升级，促进经济结构调整的有效途径；是提高国民经济整体素质和效益，实现可持续发展的重要基础；是抓住国际产业转移机遇，提高我国工业发展水平的必要措施；是培养新的经济增长点，增强经济发展后劲的重大举措。而装备制造业的基础就是大型铸锻件行业。

所以，振兴和发展我国的大型铸锻件行业是振兴装备制造业的重要环节，而技术创新和产业结构升级是我国大型铸锻件行业发展的核心。

根据我国的国民经济政策、国防建设以及国际国内两个市场发展的需求，大型铸锻件行业的发展应该坚持提高大型铸锻件行业的整体实力并实现重点突破，在较短的时间内赶上世界先进水平。因此，我国大型铸锻件行业的发展应该遵循两条原则：一是按照国家的产业政策，二是适应市场经济发展的需要。

大型铸锻件行业发展的出发点是满足市场的需求。在目前“产品结构不合理，企业发展不均衡，市场竞争日趋激烈”的情况下，不仅着眼于国内大型铸锻件市场，更应开拓国际市场。这也是大型铸锻件行业增长的主要措施和根本出路。

大型铸锻件行业发展的主要内容是产品结构调整和持续创新。经过“十一五”期间的快速发展，国产大型铸锻件产品的竞争力有所增强。企业结构调整和持续创新需要国家相应的政策引导与资金支持。

大型铸锻件行业发展的手段是市场机制和宏观控制。由于我国的市场经济还仍然处于不断发展完善的阶段，市场秩序比较混乱，还存在一些不良竞争和不规范的作法，因此，尤其需要国家宏观的调控和管理指导以及相应的政策措施。

大型铸锻件行业发展的结果是按照国家的政策，根据我国的市场经济的特点和需求，整合优势资源，发展国家建设和国民经济不可或缺的优良企业，淘汰能耗高、污染环境、经济效益差的企业。提高我国大型铸锻件行业在国际上的整体竞争优势。

将有几个经过重点技术改造的、具有国际竞争力、能够生产特大型和大型铸锻件的大型企业以及一批专业化程度高的、具有合理经济规模的中小型企业，再联合相关的大学院校等科研、设计和服务等机构，形成一个产品有分工，技术有

特色、门类较齐全的大型铸锻件生产格局。在这个过程中，要丧失一些落后的生产力和关闭一些现有的厂家，但留下的是应该完成了技术升级的厂家，在有创新能力和市场竞争力的厂家，是可以持续发展的厂家。

在越来越明朗的国际经济一体化的经济形势下，要提高我国大型铸锻件产品质量和经济效益，谋求我国的大型铸锻件行业的发展。现阶段我国大型铸锻件行业面临的是发展提高阶段。

### **（三） 政策措施**

“十二五”期间大型铸锻件行业在核电核岛大型铸锻件、大型火电及核电常规岛大型铸锻件、大型航空航天模锻件等方面的研发工作十分繁重，需要的研发投入十分大，而研发工作的优劣对我国电力与航空等行业具有重要影响。希望国家采取“重大专项”、“鼓励和支持用户采用国产首批铸锻件”、“增加企业技术改造投资支持力度”等投入方式，解决研制费用及“首件制造使用风险。并支持大型铸锻件企业国家实验室建设，支持企业与院所合作。

## **五、重点研发领域、研发项目及新产品研制建议表**

### **（一） AP1000 等第三代大型核电站关键设备大型铸锻件研制**

#### **1 项目的重要性与必要性**

目前，全球核电已进入了一个高速发展时期，为了改善能源结构，各工业发达国家和发展中国家都在积极致力于核电的发展。美国把扩大核能作为国家能源政策的重要组成部分，在役的 100 多座核电站有相当部分需要进行更新换代；俄罗斯制定了较大规模的核电计划，已有 5 座机组在建设中；日本政府提出核电立国，计划在 2010 年前新建 13 座核电站，2011 年后，再建 7 座核电站；亚洲除中、日、韩外还有 11 个国家分别提出要发展核电。2020 年前，全球每年至少需要二十多套核电锻件，市场前景非常广阔。

2004 年，国务院批准了 8 套核电机组的建设。其中四套是第二代改进的项目，四套是第三代核电自主化的依托项目。2005 年，又决定再开展四套第二代改进机组的建设前期工作。2006 年 3 月 22 日国务院通过的《核电中长期发展规划（2005～2020 年）》（简称“规划”）对于积极推进核电建设，满足经济和社会发展不断增长的能源需求，实现能源、经济和生态环境协调发展，提升我国综合经济实力和工业技术水平意义非凡。规划的核电发展目标是：到 2020 年，核电运行装机容量争取达到 40000MW，并有 18000MW 在建项目结转到 2020 年以后续建。核电占全部电力装机容量的比重从现在的不到 2%提高到 4%，核电年发电量达到 2600～2800 亿千瓦时。据悉，尚未颁布的国家发改委《新能源产业振兴规划》将对核电中长期发展规划做进一步调整。即在原规划到 2020 年达到 40000MW 的装机容量上扩容 30000MW，达到 70000MW，力争 2020 年核电占电力总装机的比例达到 5%以上。

随着核电技术向大型化发展，对其基础零部件的要求也越来越高。大型先进压水堆核电中的反应堆压力容器（RPV）（包括：整体顶盖、一体化接管段、堆芯筒体、过渡段及下封头等）、蒸汽发生器（SG）（包括：椭球封头、锥形筒体、管

板、水室封头及上下筒体等)、主管道及常规岛等关键设备所需整锻汽轮机低压转子、发电机转子等超大型锻件的制造技术和生产能力,已成为制约全球核电高速发展的瓶颈。

我国为了加速核电的发展,从法、美等发达国家引进了二代、二代加及三代核电设计及制造技术,目前在建的项目已有二十多台机组。由于全球制造核电锻件的能力及水平非常有限,再加上一些“保障条件”等的限制,使得我国已开工的一些二代加及三代核电项目因锻件受制于人而无法按期投产。因此,我国必须独立自主地研究和掌握核电大型锻件制造的关键技术,解决超大型锻件制造的瓶颈问题,才能实现大型先进压水堆核电的国产化,保证国家核电战略发展的需要。

## **2 国内外当前技术水平及发展趋势与风险分析**

世界上工业发达国家都十分重视发展大型锻件的制造能力与工艺技术水平,代表世界上最大、最先进的制造水平和制造能力的大型锻件供应商不足 10 家。目前,欧美国家的锻件生产能力明显不如日韩,而韩国 DOOSAN 重工虽然在生产能力上占据优势,但其大型锻件制造水平与日本 JSW 相比,还稍显逊色。日本是到目前为止公认的“世界大型锻件的供应商”,上世纪八十年代中期就已形成了以百万千瓦核电常规岛整锻汽轮机低压转子为代表的 600 吨级钢锭的生产能力。韩国 DOOSAN 重工是 1982 年才开始生产大型铸锻件的企业,从 1997 年开始,利用了 10 年的时间对百万千瓦核电常规岛整锻汽轮机低压转子进行了深入研究。而法国的 Crusot 受钢锭种类(以空心钢锭为主)及等级(实心钢锭最大 200 吨)的限制,无法实现超大型核电锻件的整体制造,韩国的 DOOSAN 重工技术水平也满足不了超大型核电锻件整体性和仿型性的要求。能满足 AP1000 大型先进压水堆核电所要求的整体顶盖、一体化接管段、整锻低压转子等超大型锻件制造水平的只有日本的 JSW。

在国外不愿提供其制造技术,甚至不提供成品的核电大型铸锻件,尤其是 AP1000 核电常规岛的整锻低压转子的研发难度是相当大的。某发达国家经过十年的开发,废掉了三支转子,至今仍未获得成功。由于近二十年国家没有对大型铸锻件进行联合攻关,我们对于大型铸锻件的研发基础已相当薄弱,由于原来产业部门的研究所已经转制成为企业,为行业提供技术来源的这部分功能已经基本丧失。而高等院校大多已无专业队伍研发大型铸锻件。此外被国家赋予技术创新主体的企业,由于研发能力较弱且又单打独斗,也很难在短期内完成自主创新的核电大型铸锻件的研发。由于核电大型铸锻件的奇缺,导致了重机行业、冶金行业、甚至民营企业统统装备万吨水压机来抢占这一市场。核电超大型锻件短期内无法满足核电高速发展的市场需求。

## **3 AP1000 关键设备制造难点**

AP1000 压水堆技术的引进,使我们对三代核电及其关键设备的制造技术有了更清晰地了解核电发展方向及我们的差距。AP1000 关键设备制造难点包括以下几个方面:

### **(1) 设备单体增大对整体制造产生影响**



机组容量增大和系统简化（AP1000 的两回路设计）是设备单体尺寸增加、重量增加的主要原因。如：AP1000 的蒸汽发生器单件就达 456.45 吨。

### **（2）新的设计结构增加压力容器顶盖制造技术难度**

原先布置在压力容器下封头上的堆芯测量仪表孔在 AP1000 设计中移到了上部顶盖封头上，使顶盖封头汇集了控制棒驱动管座孔和堆芯测量仪表孔，开孔数量大大增加。AP1000 上封头开孔总数达到 111 个。封头球面上开如此多的贯穿孔，且孔的位置度（相邻孔距和任意孔距）要求又高、加上管座与封头焊缝的焊缝坡口形状为 J 形三维设计，大大增加了封头的加工难度。

### **（3）一体化与制造方式改变成形难度**

锻件制造技术近年来发展很快。AP1000 的压力容器顶盖封头采用了整体锻件，主管道采用锻造成形，蒸汽发生器水室封头的接管冲孔翻边等，这些结构变化都需要特殊的锻造成形技术。

### **（4）锻焊结构对堆内构件制造技术提出新挑战**

AP1000 的堆内构件设计取消了堆芯罩组件（或称围辐板组件）螺钉连接结构，采用了折板焊接结构。因为采用了焊接结构，需要研究和攻克焊接程序和特殊工装，以减少焊接变形。同时需要研制大型阶梯形加工专机，以保证最终精度。

## **4 主要研发项目与技术指标要求**

### **（1）AP1000 核岛压力容器（RPV）的研制**

包括整体顶盖锻件、一体化接管段锻件、堆芯筒体锻件、过渡段锻件及下封头锻件等研制。

主要研制内容：超纯净钢冶炼技术研究；大型超厚板坯锻透、压实技术研究，大型厚壁筒体锻件均质性研究，形状复杂锻件的仿形锻造技术及工装设计；热处理细化晶粒技术研究等。

AP1000 核岛 RPV 中的整体顶盖锻件、一体化接管段锻件、堆芯筒体锻件的主要力学性能要求：室温拉伸： $R_{p0.2} \geq 345\text{Mpa}$ 、 $R_m = 550-725\text{Mpa}$ 、 $A \geq 18$ 、 $Z \geq 38\%$ ， $RTNDT \leq -12^\circ\text{C}$ 。

预期目标：全套锻件合格交货并具备批量化生产能力。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：10000 万元。

### **（2）AP1000 核岛蒸汽发生器（SG）锻件研制**

包括椭球封头锻件、锥形筒体锻件、管板锻件、水室封头锻件及上下筒体锻件等研制。

主要研究内容：超纯净钢冶炼、浇注技术研究及钢锭锭型设计；特厚饼形件锻透、压实工艺及防止产生夹杂性裂纹和有效减小片状夹杂物的锻造工艺，形状复杂锻件的仿形锻造技术及工装设计；热处理细化晶粒技术研究；SA508-3 Class2 钢锻件的热处理工艺优化及回火参数研究。大直径薄壁筒体热处理防变形措施研究等。

主要力学性能要求：室温拉伸： $R_{p0.2} \geq 450\text{Mpa}$ 、 $R_m = 620-795\text{Mpa}$ 、 $A \geq 18\%$ 、 $Z \geq 38\%$ ， $RTNDT \leq -21^\circ\text{C}$ 。

预期目标：全套锻件合格交货并具备批量化生产能力。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：10000 万元。

### (3) AP1000 核岛一回路锻造主管道锻件研制

包括冷段与热段。

主要研究内容：大型超低碳控氮 316LN 不锈钢冶炼技术及特大型不锈钢锭的浇注技术研究；带管嘴超低碳奥氏体不锈钢整锻成型锻造工艺及晶粒细化控制方法；大直径管道弯曲成型技术研究；大直径、超长直管机械加工技术；大直径旁通管嘴相贯线机械加工技术；热处理防变形措施研究等。

预期目标：根据美国西屋公司主管道制造技术规格书的要求，按照设计图纸进行全直径锻造主管道研制，完成各项检验、试验项目及尺寸满足设计要求。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：5000 万元。

### (4) AP1000 常规岛整体低压转子锻件研制

AP1000 常规岛低压转子锻件的化学成分和主要力学性能要求如下：

化学成分：30Cr2Ni4MoV（10325MUB、10325UC）

熔炼化学成分分析要求

(Wt) %

材料牌号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
30Cr2Ni4MoV	≤0.35	0.20~0.40	≤0.12	≤0.015	≤0.015	1.50~2.00	3.25~3.75
材料牌号	Mo	V	Cu	Al	Sn	Sb	As
30Cr2Ni4MoV	0.30~0.60	0.07~0.15	≤0.20	≤0.015	≤0.015	≤0.0015	≤0.020

气体含量要求

(ppm)

材料牌号	H	O	N
30Cr2Ni4MoV	≤2	≤75	≤100

力学性能要求

材料牌号	取样部位	强度等级	Rp0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A4 %	Z %	Akv J	上平台 J	FATT ℃
30Cr2Ni4MoV	轴端 轴身	620	≥621	724~862	≥17	≥50	≥68	≥82	≤-7
	芯部		≥621	≥724	≥17	≥50	≥68	≥82	≤15
30Cr2Ni4MoV	轴端 轴身	690	≥690	≥794	≥17	≥50	≥55	—	≤10

注：中心部位晶粒度大于 2 级，表层部位晶粒度大于 3 级。

主要研究内容：多包精炼控制与精炼技术研究；600 吨级钢锭浇注与钢锭偏析控制技术研究；锻造成形方式与中心压实工艺研究；热处理技术研究；加工技术研究等。

预期目标：掌握重量为 600 吨级钢锭的锻件制造技术，研制出符合性能与质量要求的常规岛整体低压转子锻件。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：5000 万元。

#### (5) AP1000 核电整体发电机转子锻件研制与批量化生产

核电发电机转子化学成分和主要力学性能如下：

熔炼化学成分分析要求：

(Wt) %

材料牌号	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
3.5NiMoV	≤0.31	≤0.50	≤0.10	≤0.015	≤0.018	≤0.50	≥3.20
	Mo	V	Cu	Al			
	0.30~0.70	0.05~0.15	≤0.35	≤0.010			

力学性能要求：

材料牌号	取样 部位	强度 等级	Rp0.2 N/mm <sup>2</sup>	Rm N/mm <sup>2</sup>	A4 %	Z %	Akv J	上平台 J	FATT ℃
3.5NiMoV	轴端 轴身	760	≥755	≥853	≥15	≥40	≥81	—	≤80

还须满足转子探伤技术要求。

主要研究内容：多包精炼控制与精炼技术研究；500-600 吨级钢锭浇注与钢锭偏析控制技术研究；锻造成形方式与中心压实工艺研究；热处理技术研究；加工技术研究等。

材料牌号 3.5NiMoV；化学成分和主要力学性能有详细量值要求，并满足转子探伤技术要求。

预期目标：掌握重量≥500 吨级钢锭的锻件制造技术；研制出符合性能与质量要求的常规岛整体发电机锻件；并批量化生产。

研制进度 2010~2013 年，经费预算：3000 万元。

#### (6) 核电常规岛用焊接特大型低压转子研制

主要研究内容：冶炼与铸锭技术研究；锻件成形技术研究；焊接技术研究等。

焊接技术研究包括：耐热合金钢焊接物化冶金机理；信息与质量的映射规律；多场耦合演化过程等。

预期目标：掌握与优化焊接型特大低压转子热加工工艺优化，实现电站关键大件，如低压转子等的盘轴组合、深窄坡口焊接制造。创新一种以小拼大的制造方法。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：5000 万元。

#### (7) AP1000 主泵泵壳研制

主要研究内容：超低碳奥氏体不锈钢冶炼工艺研究；研究铸件的充型过程，确定合理的浇注系统设计方式以及在浇注过程中的有效保护措施；提高铸件致密性的措施研究；结合铸件材料的特性，研究达到铸件所需毛坯表面粗糙度要求的精整工艺以及提高精整效率的工艺措施；组织控制与热处理工艺研究。

预期目标：根据技术规格书的要求，按照设计图纸进行研制，完成各项检验、性能指标达到设计要求。

研制进度 2010~2013 年，经费预算：2000 万元。

#### **(8) AP1000 稳压器、补水箱锻件及高温气冷堆锻件研制**

高温气冷堆是国际上公认的具有先进技术特征的新型核反应堆，具有固有安全性、系统简单、发电效率高、用途广泛、具有潜在的经济竞争性，在国际上受到广泛的重视，是能够适应未来能源市场安全 and 经济需求的具有第四代核能系统主要特征的新型核反应堆堆型，高温气冷堆示范工程由我国自主设计、建造和运营，对我国掌握新一代先进核能技术、推动核能技术进步、提升自主创新能力、加快核电建设国产化进程和实现可持续能源发展战略都具有重要的战略意义。

本项目稳压器及补水箱锻件用于三门核电 AP1000 大型先进压水堆核电站示范工程，高温气冷堆锻件用于华能山东石岛湾核电站高温气冷堆国家示范工程，因此，开展本项目的研制，使本项目顺利有序推进具有重要的意义。

##### **AP1000 补水箱关键技术研究工作：**

AP1000 补水箱共包括壳体锻件 I、壳体锻件 II、封头锻件 I、封头锻件 II、接管锻件 I、接管锻件 II、人孔锻件及人孔盖板锻件共 8 种锻件。其中壳体为厚壁大直径筒形件；封头直径较大、锻造成型难且热处理时容易产生变形；接管壁厚较大，内孔较小，热处理时内壁冷却条件差。关键技术研究工作有：

##### **(1) 壳体、接管锻造工艺及封头成型、成型模具的设计**

根据壳体、接管壁厚的特点，研究通过最后一火增大变形量改善晶粒度的工艺方法。根据封头的特点，通过数值模拟进行锻造工艺优化，满足锻件对内部质量和形状尺寸的要求，根据数值模拟结果确定成型方案并加工制造模具。

(2) 锻后热处理：通过制订合理的锻后热处理工艺，使锻件组织均匀，晶粒细化。

(3) 性能热处理：根据锻件实控化学成分选取最佳的淬火温度，通过选取合适的回火参数来保证调质后的力学性能。同时，采取措施防止封头淬火冷却过程中的变形。

##### **高温气冷堆锻件的研制工作：**

高温气冷堆锻件共包括顶封头、风机壳筒体下法兰、风机支承法兰段、热气管管嘴法兰、上筒体、筒体法兰及下封头共 7 种锻件，以风机壳筒体下法兰、筒体法兰、热气管管嘴法兰、风机支承法兰段为代表。关键技术研究工作有：

##### **(1) 锻造工艺**

根据顶封头、底封头的特点，通过锻造大型筒体后碾平提供板坯，冲压板坯完成封头成型。设计收口工装，满足风机壳筒体下法兰锻造时内表面为圆弧。

(2) 锻后热处理：通过制定合理的锻后热处理工艺，使锻件组织均匀，晶粒细化。

(3) 性能热处理：根据锻件实控化学成分选取最佳的淬火温度，通过选取合适的回火参数来保证调质后的力学性能。同时，采取措施防止封头冷却过程中的变形。

##### **预期达到的目标**

AP1000 稳压器上封头、下封头：通过系统研究，研制出符合各项技术要求的

AP1000 稳压器上封头、下封头，尺寸符合设计图纸要求，主要力学性能满足以下要求：

试验项目	试验温度(℃)	机械性能指标	要求值
拉伸试验	室温	R <sub>p0.2</sub>	≥450MPa
		R <sub>m</sub>	620-795Mpa
		A%(4d)	≥16%
		Z%	≥35%
Cv 冲击试验	T <sub>NDT</sub> +33℃	最小侧膨胀值	0.89mm
		最小冲击值	68J
落锤试验+ Cv 冲击试验	—	RT <sub>NDT</sub>	≤-21℃

AP1000 补水箱锻件：通过系统研究，研制出符合各项技术要求的 AP1000 补水箱锻件，尺寸符合设计图纸要求，主要力学性能满足以下要求：

试验项目	试验温度(℃)	力学性能	要求值	
			轴向	周向
拉伸	室温	R <sub>p0.2</sub> (MPa)	/	≥345
		R <sub>m</sub> (MPa)	/	550~725
		A (%)	/	≥18
		Z (%)	/	≥38
冲击试验	T <sub>NDT</sub> +33	单个试样的最低值 (J)	68	/
		最小侧向膨胀量 (mm)	0.90	/
		剪切断口百分率 (%)	提供数据	/
落锤及补充冲击试验		RT <sub>NDT</sub> (℃)	≤-12℃	
夏比 V 形缺口冲击转变曲线		上平台能量	≥88J	

高温气冷堆锻件：通过系统研究，研制出符合各项技术要求的高温气冷堆锻件，尺寸符合设计图纸要求，主要力学性能满足要求。

研制进度 2010~2013 年，经费预算：9500 万元。

#### (9) 核电堆内构件不锈钢锻件整套研制

主要研究内容：精炼技术研究；锻造成形工艺研究；形状复杂不锈钢锻件的加工技术研究；不锈钢锻件装配及焊接工艺研究。

预期目标：研制出产品，产品达到各项性能指标要求。

研制进度 2010~2013 年，经费预算：4000 万元。

#### (10) AP1000 稳压器成台设备的研制

主要研究内容：精炼技术研究；钢锭凝固数值模拟与钢锭优化设计研究；锻

造成型及模具设计研究；筒体堆焊技术研究；异种钢焊接工艺研究；大型薄壁封头及筒体机加工工艺研究；锻造成形技术研究等。

预期目标：研制出产品，产品达到各项性能指标要求。

研制进度 2010～2013 年，经费预算：3000 万元。

### **（11）AP1000 波动管研制**

主要研究内容：大型超低碳控氮 316LN 不锈钢冶炼技术研究；整锻成型锻造工艺及晶粒细化控制方法研究；复合弯管技术研究；机械加工技术研究；热处理防变形措施研究。

预期目标：研制出产品，产品达到各项性能指标要求。

研制进度 2010～2015 年，经费预算：3000 万元。

### **（12）大型核废料罐锻件研制**

主要研究内容：大型核废料罐整锻成型工艺及工装设计；整锻大型核废料罐加工技术研究；晶粒细化技术及热处理工艺研究等。

预期目标：研制出产品，产品达到各项性能指标要求。

研制进度 2010～2015 年，经费预算：2000 万元。

### **（13）AP1000 核电大型关键件加工工艺研究**

主要研究内容：封头外部各凸台与外部球体相交弧面的加工技术研究；封头各孔及与内球体相交各弧面的加工技术的研究；大直径、超长直管机械加工技术，大直径旁通管嘴相贯线机械加工技术；超大、超长厚壁筒体加工技术研究，大型饼形件翻转工装设计。

预期目标：研究与优化特殊锻件加工工艺，设计专用工装与检测工具，提高加工效率；产品尺寸满足设计要求。

研制进度 2010～2015 年，经费预算：1000 万元。

本项目研发资金包括设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、专家咨询费、差旅费、会议费、管理费等，预计所需研发资金约 5.95 亿元。

附表 1 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型核电铸锻件部分）（附后）

## **（二）大型火电与水电铸锻件研制**

### **1 项目的必要性**

随着我国国民经济的发展，用电紧张的问题日益严重突出，据有关部门统计，中国大陆发电设备总装机容量和年发电量均列世界第二位，但我国人均发电装机容量只在世界排名第 80 名以后，年人均用电量不到世界平均水平的一半，节约能源，提高热效率，发电设备向大容量、高参数发展已成当今发电设备的发展趋势。而目前我国大型铸锻件厂家生产制造的火电转子锻件类型主要是 125～600MW 机组的转子锻件，因此为迅速提升我厂火电锻件制造技术水平，满足市场迫切需求，尽快开发制造交货重量 70 吨以上火电汽轮机、发电机转子锻件已成当务之急。

为了满足我国工业化和现代化建设对电力的需要, 21 世纪前 10 年到 20 年, 将是我国电力发展的关键时期。预计到 2010 年全国装机容量将达到 540 GW, 到 2020 年, 全国装机容量将达到 900 GW 左右。尽管如此, 就火电技术水平而言, 我国与国际先进水平还有不小的差距。主要标志之一就是长期来我国的火电平均供电煤耗居高不下, 在九十年代初是 412g/kWh, 经过了 90 年代 10 年的发展, 供电平均煤耗仍在 400g/kWh 左右徘徊, 比先进国家高出约 70~80 克。这就意味着生产同样多的电量供电煤耗比国际水平高出 25%, 这不是个一般性的技术问题和经济问题, 而是涉及可持续发展战略的大问题。

我国核电、水电、火电、船舶、飞机等大型发电与运载装备的制造都需要大量的大型铸锻件。由于大型铸锻件形体巨大, 服役条件严酷, 要求较长的服役寿命, 质量要求高, 制造难度大, 加上大型铸锻件生产过程对能源和材料等消耗大, 科技含量高, 所以, 大型铸锻件的制造技术的现代化研究越来越引起国内外关注。

超临界发电技术日趋成熟, 超超临界机组也已批量投运, 国外已具有完整而成熟的设计、制造技术。因此, 技术成熟的大容量超超临界和超超临界机组将是我国清洁煤发电技术的主要发展方向, 也是解决电力短缺、能源利用率低和环境污染严重等问题的现实而有效的途径。

我国的超临界化起步晚, 现在已比火电先进国家晚了 40 多年。尽管“十一五”期间国内主要大型铸锻件厂家开展了大量技术研究工作, 取得了显著成果, 但作为核心部件的 12%Cr 型高中压转子、超纯净低压转子等大型铸锻件, 由于制造技术难度大, 需要相应配套设备等诸多原因, 目前仍然大量进口。

因此, 在目前国际竞争形势日趋激烈的情况下, 加速超临界机组用大型铸锻件 12%Cr 型高中压转子、超纯净低压转子及 12%Cr 型汽缸体等核心部件的开发研制, 工艺优化与批量生产, 加快国产化步伐, 尽快赶上发达国家水平, 这将为我国参与国际竞争提供有力保证, 具有重大的经济意义和深远的战略意义。

## **2 主要研发项目与研究内容**

### **(1) 超超临界汽轮机转子研制**

由于超超临界机组的高效率, 发电煤耗低于 300g/kwh, 比同等容量的亚临界机组每度电少耗煤 20 克左右, 有利于对环境的污染排放控制。现在超超临界机组所用的转子, 基本还是依靠进口, 国内生产技术都还在摸索阶段, 有必要对超超临界转子进行研制, 实现国产化。

超超临界转子是在高温高压运行的高合金钢锻件, 产品制造难度极大, 目前只有德国萨尔钢厂批量生产, 日本小批量生产, 并且只供应本国使用。超超临界汽轮机转子主要技术指标如下表所示:

技术指标	单位	要求
Rp0.2	N/mm <sup>2</sup>	700-800
Rm	N/mm <sup>2</sup>	≤1000
A	%	≥13
Z	%	≥40
Akv (常温)	J	≥30
FATT50	℃	≤50
高温持久 (温度: 600℃, 应力: 230MPa)	h	≥500

主要研究内容: 1) 3.5%NiCrMoV 超纯钢汽轮机低压转子标准、材料、制造技术及主要性能的研究; 2) 12%Cr 系汽轮机高中压转子标准、材料、制造技术及主要性能的研究; 3) 12%Cr 汽轮机耐热铸钢缸体标准、材料、批量制造技术及主要性能提高研究; 4) 18Mn—18Cr 含氮发电机无磁护环标准、材料、制造技术及主要性能的研究, 达到能够国产化自主生产。研究制定全套我国的超超临界大型铸锻件技术标准。

预期目标: 全套铸锻件合格交货并实现稳定批量化生产, 替代进口。

研制进度 2009~2015 年, 经费预算: 10000 万元。

本课题产品的成功研制将实现汽轮机转子的产业化生产, 即使因产量原因还需部分进口, 也可有效平抑进口价格, 具有显著的经济效益和社会效益。

## (2) 高低压联合机组高低压联合转子的制造技术

材料牌号: 24Cr2Ni1Mo1V

主要研究内容: 高低压复合转子的新材料; 精炼技术研究; 锻造压实技术研究及分区热处理技术的开发和应用等。

预期目标: 掌握 200MW 以上的燃气-蒸汽联合循环发电机组用高低压复合转子产品的制造技术, 制造技术达到国际先进水平, 并完成相应技术标准编制。形成订货合同, 并合格交货。

研制进度 2010~2013 年, 经费预算: 2000 万元。

## (3) 大型燃气轮机系列高温材料锻件 (转子、轮盘及拉杆等)

主要研究内容: 1) 12Cr%超纯钢电渣重熔工艺研究; 2) 燃气轮机轮盘锻造工艺研究与数值模拟优化; 3) 转子及拉杆等锻造工艺研究; 4) 热处理工艺研究。

材料牌号: D50A663; 力学性能要求如下: Rp0.2 ≥ 655 MPa; Rm 790-890 MPa; A ≥ 13%; Z ≥ 35%; FATT50 ≤ -73℃。

预期目标: 完成重型燃气轮机组铸锻件标准以及产品的研制并合格交货。掌握 12Cr%超纯钢燃气轮机叶轮、转子、燃气轮机缸体、阀体的制造技术并达到批量生产的能力, 完成相应标准的编制。

研制进度 2010~2013 年, 经费预算: 3000 万元。

## (4) 长江三峡水利枢纽升船机齿条、螺母柱及二期预埋件设备的研制

齿条是船厢驱动机构向混凝土塔柱的传力构件, 同时兼作船厢的横向导轨。齿条及其二期埋件包括齿条组件、Π 形钢架结构及其配套件、高强度螺栓组件和



预应力钢筋组件及其配套件。齿条组件由齿条部、底板、导轨板、高精度隔板、底板侧向搭接板及连接件等组成。

#### **齿条部尺寸参数与技术要求：**

模数：62.66725884mm，压力角：20°，基准齿廓：根据 DIN867，齿宽：810mm，齿轮变位系数：0，单节长度：4705mm，公差等级：10a27，齿面硬度：HV610±20（表面感应淬火），接触疲劳极限应力： $\geq 1170 \text{ N/mm}^2$ ，弯曲疲劳极限应力： $\geq 360 \text{ N/mm}^2$ ，齿条部材料：G35CrNiMo6-6，单件重量：10000Kg。

#### **齿条部铸造质量要求：**

材料须满足 DIN EN 10293 的要求；铸件材料晶粒度遵循 ASTM E112 的规定，显微晶粒度 $\geq 7.0$ 级；铸件毛坯在粗加工后，进行 100%超声波探伤。齿牙部位和心部缺陷当量尺寸均不大于 $\Phi 3$ ；齿牙区域心部不得有铁素体组织；铸件表面不得补焊。

#### **齿条部热处理要求：**

铸件调质处理硬度为 HB260~300；表面感应淬火后的齿面硬度（包括齿根部位） $\geq \text{HV}610$ ，偏差不得大于 $\pm \text{HV}20$ ，淬硬层深度 $\geq 6\text{mm}$ 。

#### **螺母柱尺寸参数与技术要求：**

螺距及其公差： $450 \pm 0.1\text{mm}$ ，螺纹小径、中径、大径： $\Phi 1365 \pm 0.5\text{mm}$ 、 $\Phi 1450 \pm 0.5\text{mm}$ 、 $\Phi 1565 \pm 0.5\text{mm}$ ，螺纹面齿形角及其公差： $20^\circ \pm 0.05^\circ$ ，齿根厚度及其公差： $206 \pm 0.1\text{mm}$ ，螺纹齿顶圆柱度公差：0.2mm，导轨面平面度公差：0.2mm，导轨面与对称中心线的夹角： $45^\circ \pm 0.03^\circ$ ，两端面相对于螺母柱宽度一侧面的垂直度公差：0.1mm，螺纹螺旋面的粗糙度 Ra12.5，导轨面粗糙度为 Ra1.6，材料：G35CrNiMo6-6，单件重量：24000Kg。

#### **螺母柱铸造质量要求**

材料满足 DIN EN 10293 的要求；铸件材料的晶粒度遵循 ASTM E112 的规定，显微晶粒度为 7.0 级；在粗加工后应进行 100% 超声波探伤，螺牙部位和心部缺陷当量尺寸均不得大于 $\Phi 3$ ；铸件表面不得补焊。调质处理螺纹面的硬度为 HB250，允许变化范围 $\pm \text{HB}20$ 。

#### **主要技术难点：**

1) 钢液流动性差，易产生冷隔，凝固收缩值大，易产生缩孔和缩松，其冒口的尺寸要比常规低合金钢大，由此而产生的应力大，易产生裂纹，要通过凝固特性及铸造工艺的研究，确保铸件的质量满足标准要求；

2) 探伤严格：铸造质量等级为 DIN1690-2 中的 2 级以及 DIN EN 1559 相关要求，检验和评定应遵循 DIN1690-2 和 DIN EN 1559；在粗加工后应进行 100% 超声波探伤；齿牙部位和心部缺陷当量尺寸均不得大于 $\Phi 3$ ；齿条最厚部位超过 500mm，要控制整个铸件 UT 探伤缺陷当量在 $\Phi 3$  以内是非常困难的，所以在工艺设计时严格控制冒口之间的补缩距离及外冷铁等措施是至关重要的；

3) 晶粒度控制级别高：铸件材料晶粒度遵循 ASTM E112，显微晶粒度为 7.0 级或更细。对晶粒度进行 100% 检验，并在产品合格证中记录，如此高的晶粒度

在铸件上是罕见的；

4) 焊补：技术要求铸件表面不得补焊，对于铸件来说缺陷的存在是不可避免的，特别是此件生产批量大，验收要求极为苛刻，确保表面不焊补是极为困难的；

5) 心部铁素体控制难度大：齿条铸件的齿牙区域心部不得有任何铁素体组织，对前期预备热处理工艺的编制提出了方向性的要求；

6) 齿条在铸造、热处理过程中容易变形等。

**主要研究内容：**冶炼与浇注技术研究；铸造数值模拟与工艺优化；调质热处理工艺研究；表面感应淬火热处理工艺研究；5) 加工工艺研究等。

**预期目标：**齿条部调质热处理与表面感应淬火热处理后硬度、晶粒度、接触疲劳极限应力、弯曲疲劳极限应力等性能指标达到要求，铸造质量达到要求。螺母柱铸造质量达到要求，热处理硬度满足要求。研制出产品，产品达到各项性能指标要求，达到国内先进水平。

研制进度 2010~2013 年，经费预算：3000 万元。

### **(5) 大型抽水蓄能机组成套设备大型铸锻件**

完成 30 万千瓦及以上的大型抽水蓄能机组成套大型铸锻件的材料以及产品的开发研究，相应标准的研制。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：2000 万元。

### **(6) 2MW 级以上风电及海上风电机组铸锻件研制**

掌握 2MW 以上的大型风电机组铸锻件热加工制造技术，掌握 3MW 级的大型海上风电机组铸锻件的开发研制技术，包括风电齿轮箱、叶片以及主轴等产品的研制工作。

形成批量成熟的产品和自主知识产权。完成风电机组大型铸锻件产品的研制，形成我国自主的风电材料和铸锻件标准体系。

研制进度 2010~2015 年，经费预算：2000 万元。

本项目研发资金包括设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、专家咨询费、差旅费、会议费、管理费等，预计所需研发资金约 2.2 亿元。

附表 2 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型火电与水电铸锻件部分）（附后）

## **(三) 大型航空整体模锻件研制**

### **1 项目的必要性**

随着航空、航天和高技术产业的迅速发展，先进战斗机和运输机中大量使用结构效益十分显著的大型整体构件，如钛合金、铝合金隔框等，以降低重量系数，提高作战能力。新一代飞机更是如此，目前钛合金隔框投影面积约为  $1\text{ m}^2$ ，而未来四代机和大飞机大型整体复杂构件的投影面积将达到  $3\text{--}5\text{ m}^2$ ，从而使得大型整体构件制造的瓶颈问题日益突出。因此以先进飞机钛合金、铝合金大型整体隔框为对象，立足于以小干大、高效柔性的思想，以突破现有设备和技术的结构尺寸

上限的制约为目标,开展钛合金、铝合金大型整体构件的等温局部加载省力近净成形技术研究,掌握超大型构件制造的关键技术,对于全面提高超大构件的制造能力,增强我国国防工业与航空工业总体能力具有重要意义。

## **2 国外技术发展**

美国成功地研制了 F-22 第四代战斗机上钛合金后机身整体隔框锻件尺寸达  $3800 \times 1700\text{mm}$ , 投影面积达  $5.16\text{ m}^2$ , 锻件重量达  $1590\text{kg}$ 。若按普通锻造计算,该锻件需要 10 万吨级以上的压力机制造,但是美国目前只有 4.5 万吨级设备。解决这一矛盾的路线是采用小载荷分步多道次的成形技术,并应用计算机模拟制造整体复杂精确锻件技术。

美国、法国及西欧、俄罗斯等航空工业发达国家在航空产品制造中,最为关注的是材料及其成形工艺的研究与进步,如等温锻造、超塑成形、扩散连接、碳纤维合成材料等。主要关注航空产品组成部件少,拼接少,耐用性好,维护少,重量轻。

## **3 主要研究项目与目标**

### **(1) 大运机用 300M 钢锻件在 800MN 压机上成形工艺研究**

主要研究内容: 300M 钢锻件成形工艺特点; 组织性能控制技术; 模锻工序数值模拟技术; 300M 钢热处理制造技术。

预期达到目标: 形成稳定的大型 300M 钢模锻件生产能力。

研制进度: 2011~2013 年, 经费预算: 1500 万元。

### **(2) 超高强度不锈钢大型模锻件工艺研究**

不锈钢因具有抵抗腐蚀、化学稳定性的特点,因而广泛运用于航空、航天、化学动力工业以及医疗器械。不锈钢的种类较多,按组织分为五大类,包括铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、奥氏体不锈钢、沉淀硬化不锈钢、双相不锈钢,各种不锈钢的性能不同,因此应用范围也不尽相同,本课题研究的是沉淀硬化不锈钢 0Cr13Ni8Mo2(PH13-8Mo),该不锈钢主要用于制造高强度、高硬度、耐腐蚀的重要零部件,如轴、高速离心机转子飞机的承力接头、发动机机架、导弹壳体等,因此广泛运用于航空、航天、化工机械等领域,具有广阔的市场前景。

主要研究内容: 超高强度不锈钢热锻技术; 超高强度不锈钢模锻成形与数值模拟技术研究; 精炼技术研究; 组织性能控制技术研究; 理化性能试验研究。

预期达到目标: 掌握超高强度不锈钢工艺特性以及组织控制技术; 研制出产品,力学性能达到指标要求。

研制进度: 2011~2015 年, 经费预算: 2000 万元。

### **(3) 烟气轮机用高温合金大型涡轮盘锻件成形工艺研究及产品研制**

2003 年在兰州石化 300 万吨/年重催装置成功投入运行。这是世界上最大的烟气轮机之一,标志着我国成为继美国之后第二个有能力自主开发研制特大型烟机的国家。30MW 级烟气轮机可以极大地降低炼油厂加工成本,满足我国炼油工业规模化、大型化建设的需要。近几年,我国将有十多座千万吨级炼厂相继建设,海外加工原油和中东地区国家的炼油厂工程项目也在增加,将为特大型烟机

提供很好的市场机遇。

虽然美国可以提供直径达 1.38m 的特大涡轮盘，但其性能指标也并不是很稳定。例如：2002 年大连从美国进口了整组烟机，对其涡轮盘进行分析发现，该整机进口的涡轮盘强度指标也未达到 5704G 的技术标准。在 2005 年刚刚从美国进口的两个  $\phi 1.38\text{m}$  的涡轮盘的复检中发现，强度指标合格，但持久性能却没有达到技术指标的要求。因此，从该方面的数据看，随着烟机大型化的发展，特大型涡轮盘的质量控制在美国也是一个技术关键，也正在不断的改善和攻克过程中。

主要内容：GH864 高温合金材料物理参数测试；材料工艺参数试验研究；GH864 高温合金大型钢锭冶炼技术；大型坯料墩拔技术研究；模锻成形工艺与数值模拟优化技术研究；组织性能控制技术等。

预期目标：研制产品能满足千万吨炼厂大型烟机的需求，形成稳定的高温合金大型涡轮盘锻件生产能力。形成完全自主知识产权，打破瓶颈，彻底摆脱受制于人的局面。

本项目成果将应用到中石油、中石化、中海油、地炼及海外炼油厂工程项目，应用前景明确且十分广阔。

研制进度：2011~2015 年，经费预算：3000 万元。

#### **(4) 大型钛合金况整体锻造的工艺及产品研制**

钛合金是 40 年代投入生产的金属材料，其主要特点是比强度高，塑性好，耐热耐蚀性能优良，因而它被广泛应用于航空航天，导弹，舰船等行业。随着飞机飞行速度的提高，航程增大，对钛制品的性能提出了更高的要求。近年来开发出的新型钛合金主要有高强高韧 $\beta$ 型钛合金、高温钛合金、钛铝基合金及其复合材料和阻燃钛合金。钛合金的研究发展方向从国内外研究应用现状来看，今后将朝着高性能化，功能化，低成本化的方向发展。

针对制约我国在研和未来先进飞机研制和国产化瓶颈，对超大整体构件等温局部加载近净成形过程中的共性基础技术展开研究，解决大型整体构件成形制造的工艺过程及实现方法、关键技术、模具装备和工艺优化等基础共性问题，最终形成相关知识体系及工艺规范，从而指导生产实际。

研究内容：钛合金材料模拟特性参数测试；大型复杂整体构件等温局部加载精确成形仿真优化技术；等温局部加载精确成形关键技术工程化；大型组合模具及模块化技术；大型复杂整体构件预制坯技术；新型钛合金材料特性、工艺参数研究；组织性能控制技术研究等。

预期目标：掌握大飞机用（军用或商用）大型钛合金工艺特性，模锻成形与组织控制技术。

本项目研究成果可应用于当前型号、改进型和未来型号先进飞机用大型整体构件（如钛隔框）的研制或制造，对于其它领域的大型复杂整体构件成形的设计制造，也可推广应用本项目的相关成果。

研制进度：2011~2015 年，经费预算：4000 万元。

#### **(5) 7×××系列铝合金材料特性及锻造工艺研究**

随着航空航天工业、现代国防工业、化学和动力工业的发展，铝合金因具有较高的比强度、比刚度和抗疲劳性能和耐腐蚀、综合性能好、价格便宜、质量轻的特点，是航空航天飞行器的主要结构材料，主要用于制造飞机蒙皮、隔框、翼肋、翼梁等零部件。在民用和军用飞机上的用量分别约占 60—80%和 40—20%，运用十分广泛，具有广阔的市场空间，而 7XXX 系列属于可热处理强化的铝锌系变形铝合金，通过热处理可得到较高的强度和良好的综合机械性能，在航空、航天领域中运用十分广泛。

主要研究内容：铝合金工艺参数试验与模拟参数测试研究；大型铝合金模锻成形工艺与数值模拟应用技术研究；组织性能控制技术研究。

预期达到目标：完成大型铝合金模锻件工艺特性研究，模锻成形与热处理技术研究，形成大尺寸铝合金锻件的制造能力。

研制进度：2011～2015 年，经费预算：3000 万元。

#### **(6) 大型阀体、阀箱模锻成型技术研究**

主要研究内容：材料工艺性能试验研究；精炼技术研究；大型阀体模锻成形工艺与数值模拟应用研究；大型阀箱模锻成形工艺与数值模拟应用研究；热处理技术研究等。

预期达到目标：掌握大型阀体、阀箱模锻件材料特性、模锻成形及热处理技术，研制出合格产品。

研制进度：2011～2015 年，经费预算：1000 万元。

#### **(7) 大型发动机粉末高温合金工艺研究**

粉末锻造结合了粉末冶金与精密模锻两者的工艺优点，能以较低的成本和较高的生产效率大批量生产高精度、高质量、形状复杂的零件。粉末高温合金是生产飞机涡轮盘和叶片的理想材料，因此将越来越多的应用于飞机零件，具有广阔的市场前景。

主要研究内容：粉末高温合金材料参数测试、工艺特性试验研究；模锻成形工艺技术研究；组织与性能控制技术研究等。

预期达到目标：完成粉末高温合金锻件工艺特性研究，模锻成形工艺与性能控制技术研究；研制出合格产品。

研制进度：2011～2015 年，经费预算：3000 万元。

#### **(8) 大型船用模锻件研制**

船用曲轴、连杆等锻件具有形状复杂，自由锻工艺材料利用率低，质量不容易保证，加工成本高等特点。使用大型模锻设备，采用模锻工艺方法可以克服以上缺点。

主要研究内容：精炼技术研究；毛坯锻造与形状控制技术研究；模锻成形工艺与数值模拟应用研究；热处理工艺与变形控制；加工工艺研究等。

研制进度：2011～2013 年，经费预算：1500 万元。

预期目标：完成大型船用模锻件制造工艺研究工作，形成一种以上产品稳定

的生产能力。

本项目研发资金包括设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、专家咨询费、差旅费、会议费、管理费等，预计所需研发资金约 1.9 亿元。

附表 3 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型模锻件部分）（附后）

#### **（四）大型轧机用轧辊及关键零部件自主化**

##### **1 项目的必要性**

近年来，单重 200 吨以上宽厚板轧机支承辊、单重 100 吨以上高铬镍钼离心复合铸铁工作辊；高铬钢、半高速钢及高速钢高精度冷、热连轧机工作辊等轧辊及轧机零件，每年平均需进口 7-8 亿美元，折合人民币 50 亿元左右。

单重 100 吨以下大型支承辊或工作辊基本上可以实现自主化生产，但由于近几年我国钢铁工业超高速发展，特别是以发展板材为中心的产品结构优化与调整，使冷、热板材生产比例大大提高，冷、热板轧机支承辊、工作辊的需求量急剧增加，国内轧辊生产能力跟不上；某些产品，国内尚处于研究开发、产品试制或小批量生产阶段，产品质量和技术水平与国外先进技术尚有一定差距，只能依靠进口。

“十二五”要大力推进轧辊等关键零部件的自主化进程。用 3-5 年时间，根据国内市场需求及出口前景，进一步通过技术改造扩大产能，进行关键技术攻关，基本实现国内市场需求自主化，并有相当数量出口，技术水平达到进口产品同等水平。

随着一重、二重、上重三台 150MN 吨级自由锻液压机和 500-600 吨真空铸锭装置技术改造的陆续完成，我国从工艺装备上已经基本具备生产单重 200 吨以上宽厚板轧机支承辊、单重 100 吨以上高铬镍钼离心复合铸铁工作辊的条件，还需自主开展 400-500 吨级以上大钢锭冶炼、多炉合浇真空注锭、大锻件锻造及热处理技术攻关；高铬镍钼离心复合铸铁工作辊离心铸造机及离心铸造技术攻关；通过模拟试验掌握和优化加工工艺参数，完成新产品试制，通过工业试验验证，并实现批量生产。高铬钢、半高速钢、高速钢高精度板材连轧机工作辊，要进一步优化合金钢化学成分，进一步优化锻造和热处理工艺参数。

本项目的目标是：“十二五”期间，通过理论分析、试验研究、中试，以及工业应用，实现我国大型轧机用轧辊及关键零部件基本自主化，并有相当数量出口。

##### **2 主要研发项目与研究内容**

###### **（1）5000mm 特厚板轧机用 200 吨以上大型支承辊研制及批量化制造**

随着我国造船业、西气东输、高压容器、石油开采、海洋开发等建设项目的蓬勃发展，对宽厚板的需求大幅提升，为此，先后上了三线四台 5000mm 以上特厚板轧机，其支承辊都在 200 吨以上，所需钢锭都在 500 吨左右，现主要依赖进口。

特大型支承辊的主要技术指标是：支承辊重：200-260 吨；辊身硬度：HS40-55；辊身硬度均匀性： $\Delta HS \leq \pm 2$ ；淬硬层深度： $\geq 150\text{mm}$ ；辊颈硬度：HS37-50；探伤要求：满足 JB/T4120-93。

目前，国外仅有二家公司能制造 200 吨以上大型支承辊，一是日本 JSW，采用整体锻钢，材质为 MC1；二是 GP，采用复合铸钢，外层为相当于 MC1，芯部为低碳低合金钢。现 JSW 的订单已签订到 2013 年，价格非常高，每支支承辊都在 1000 万元以上。国内采购支承辊面临困难。

近几年来，我国重型机械制造业具有世界级水平的铸锻钢基地建设取得重大成果，新设备、新工艺将陆续投入使用。为生产 600 吨级钢锭、400 吨级锻件，进行了大规模设备改造和建设，无论是热加工还是冷加工，设备能力都得到极大提升，为生产特大型宽厚板支承辊奠定了基础。

但是，大型轧辊制造一般要经过铸造、锻造、加工及热处理工序，涉及材料科学、弹塑性力学、冶炼凝固技术、塑性成形加工、热处理组织性能优化控制等学科领域，是一项多学科交叉融合的复杂技术。本项目要在现有基础上，进行 5 米级特厚板轧机用 200 吨以上大型支承辊研制，最终达到工业应用，技术水平达到世界水平。

主要研发内容有：1) 相关学科基础理论分析研究；2) 450 吨级钢锭浇铸工艺研究，其中包括钢锭形状、冒口尺寸、钢锭水冒口成份偏析等；3) 附具、变形过程机理研究；4) 热处理工艺形式及其材料选用；5) 锻造工艺及其加工工艺试验研究等。

本项目在研制过程中，需要借助研究院所、高校的能力；在支承辊工业应用过程中需要冶金企业的协调和配合。

研制进度：2011~2013 年，经费预算：3000 万元。

## **(2) 离心复合工作辊研制**

世界主要轧辊制造厂商几乎全部涉足中国轧辊市场，如德国 IRLE、GP、蒂森，法国 CK. Forcast，意大利 Innse，比利时 MK. OSB，英国 BRC（英轧）Davy、TNT（泰南特）、谢菲尔德，瑞典奥克斯，日本日立、新日铁、久保田，美国 Union（联合电工钢公司）等。这些厂商逐渐有资本联合、组建大型跨国公司迹象，如瑞典奥克斯分别收购了包括法国 Forcast、德国蒂森、美国 National 等多家公司，并与太钢轧辊厂组建了轧辊公司；日本日立与宝钢成立宝日轧辊公司。

随着钢铁企业降低生产成本的迫切要求，国内轧辊制造企业面临与国外轧辊生产厂家在品种和质量上的激烈竞争。目前，我国轧辊制造与世界先进水平相比仍有较大差距，主要表现在：轧辊生产技术的基础理论研究仍较薄弱，绝大部分企业没有开展基础研究工作，基本处于模仿、引进阶段；工艺装备水平普遍较低，冶炼、铸造、热处理、机械加工装备陈旧，手工作业、智能化水平低，产品质量不稳定；行业竞争力差，生产规模小、产品单一、研发能力差，导致大量资本不能发挥作用。

本项目拟对市场需求量很大的离心复合工作辊进行全方位、系统、深入地试验研究,通过人才交流平台建设、与钢铁企业联合攻关试验等多种措施,大力提升现有我国这类轧辊制造的技术水平和与国外厂商的竞争力。

主要技术指标: 1) 用于精轧前架的高速钢离心复合工作辊需满足十周期轧制制度,轧制量需达到 40000t/mm 左右; 2) 用于粗轧机架的下一代半高速钢离心复合工作辊轧制量需达到 50000t/mm; 3) 用于粗轧机架的改进型高铬钢离心复合工作辊轧制量需达到 30000t/mm; 4) 用于精轧前架的改进型高铬铁离心复合工作辊轧制量需达到 8000t/mm; 5) 用于精轧后架的改进型高镍铬钼离心复合工作辊轧制量需达到 6000t/mm。

研制进度: 2009~2011 年,经费预算: 2000 万元。

### (3) 新型材料大型支承辊研制

近年来随着轧机的不断引进和合作制作,轧机的现代化程度越来越高,对板型的控制越来越严格,特别是冷连轧机已实现全连续无头轧制,大大提高了出口速度,因此对支承辊质量要求也越来越高。

支承辊是钢铁企业的主要消耗件之一。支承辊的生产制造以及新产品、新材料的开发一直是钢铁制造业的关注热点,世界各国的科技工作者对支承辊的研究开发就从未间断过。

随着轧机技术的不断发展的,必然要求具有更高性能的轧辊与之匹配,钢厂用户迫切要求提高硬度和淬硬层,使用良好的抗疲劳破坏能力与抗磨损性能的支承辊,以减少停机次数、有效的提高板带产量和质量,降低辊耗和生产成本。

主要研究内容: 1) 新型材料合金元素的调整与化学成份优化设计; 2) 材料特性试验与工艺试验研究; 3) 锻造成形数值模拟与工艺优化研究; 4) 热处理工艺与数值模拟分析研究; 5) 工艺优化、质量控制与批量化生产。

主要技术指标:

轧辊型式: 整段式

轧辊对象: 冷轧支承辊, 热轧支承辊, 中厚板轧机支承辊

轧辊规格:  $\Phi 900 \sim \Phi 1800$  mm

辊身表面硬度:

冷轧支承辊: HS65~70

热轧支承辊: HS60~65

中厚板轧机支承辊: HS55~60

硬度均匀性:  $\Delta HS \pm 2$

淬硬层深度:  $\geq 70$ mm

硬度降低度:  $\leq HS5$

辊颈硬度 : HS40~50

轧辊 JB/T4120—93 标准超声波探伤检查。

使用寿命在现有 4%Cr, 5%Cr 锻钢支承辊的基础上提高 20%。

研制进度: 2011~2015 年,经费预算: 2000 万元。



#### (4) 多段组合式大型支承辊关键技术研究

宽带钢热轧机、宽带钢冷轧机、中厚板轧机和宽厚板轧机等所采用的大型支承辊，是冶金企业最重要的备品备件之一。我国目前拥有 60 余条中厚板生产线；30 余条宽度大于 1420mm 的热连轧生产线；20 余条宽度大于 1400mm 的冷连轧生产线。每年直径大于 1300mm 的支承辊消耗约 300 根。

这类大型支承辊消耗量大，制造周期长，轧辊价格昂贵，目前一根支承辊造价可达千万元。因此，降低支承辊辊耗的技术已成为一项重要研究课题。

处于复杂应力状态的热轧辊损坏主要有四种形式：辊身断裂、辊颈断裂、剥落和辊身开裂，其中剥落、开裂为首要的损坏形式。现场跟踪调查表明：剥落大大降低了轧辊的服役寿命。支承辊发生一次一般的剥落，其辊耗是正常服役时辊耗的 7-8 倍；较为严重的剥落，可使一个新支承辊退役。

为了克服现有技术存在的大型支承辊制造昂贵、修复工艺复杂和修复效果不理想等，本课题提出一种多段辊套组合内冷式大型支承辊，辊芯可以重复使用，多段辊套使得单个辊套高度大大降低，适合轧环机批量生产或锻造生产，因而能够大幅度降低生产成本。此类组合式支承辊，其辊环及辊芯在热力耦合状态下，应满足的强度条件及设计准则，这将是本课题研究的重点。

本课题所研究的可重复使用多段辊环组合内冷式大型支承辊，目前国内外均为空白，如能开发此项技术并用于工业生产，则是一项具有自主知识产权新概念产品，国内外市场前景十分广阔。

研制进度：2011~2015 年，经费预算：3000 万元。

本项目研发资金包括设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、专家咨询费、差旅费、会议费、管理费等，预计所需研发资金约 9000 万元。

附表 4 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型冶金铸锻件部分）（附后）

#### (五) 其它大型铸锻件及共性技术

##### 1 大功率低速船用曲轴锻件研制及批量化生产

##### (1) 国外发展现状

国际规模化造船起源于欧洲，造船中心现已转移至亚洲，随着中国造船技术的飞速发展，造船中心已由亚洲的日、韩转移到中国，现在从新接订单等指标分析中国居世界造船排名第一，但中国距造船强国还有一定的差距，随着技术国产化的发展和自主创新技术的不断出现，中国由造船大国变为造船强国的趋势是不可改变的。

世界上生产大型低速柴油机曲轴的企业主要有：韩国现代（Hyundai）、韩国斗山重工业株式会社（Doosan）、日本神户制钢（KoBelco）、捷克维特科维策股份公司（ViTKOVICE）和西班牙曲轴厂（Sidenor）以及波兰的曲轴厂。

斗山重工（Doosan）有曲轴车床 5 台，是目前唯一可以生产全部型号曲轴的制造企业。年产曲轴 170 根，其中自需一半以上。由于斗山重工拥有完整的曲轴

热加工生产工艺,曲轴毛坯的供应无后顾之忧,在国际市场上具有较强的竞争力。韩国现代(Hyundai)具有年产 360 根的生产能力,拥有 8 台曲轴车床;日本神户制钢(KoBelco)年产量近 400 根;捷克维特科维策股份公司(ViTKOVICE)也具有较强实力。西班牙曲轴厂(Sidenor)实力较弱,可以年产 80 根。波兰曲轴厂也具备了年产百根曲轴的能力,发展也很快。

以上几家曲轴生产企业中,斗山重工(Doosan)、日本神户制钢(KoBelco)、捷克维特科维策股份公司(ViTKOVICE)被业内人士认为是最具竞争力的 3 家厂商,因为他们不仅有强大的曲轴机械加工能力,同时还都拥有自行配套的毛坯锻造及热处理生产体系,所以和其他几家厂商相比更有优势。

## **(2) 国内发展现状**

低速机曲轴生产的发展一是大曲轴的制造,二是全面覆盖,降低制造成本,并提高生产效率。国内大功率低速船用柴油机曲轴制造厂家有:大连华锐曲轴公司现在已有,主要侧重于中型机及以上的曲轴;中船重工青岛曲轴企业满足中机型曲轴生产;上海船用曲轴有限公司是制造船用半组合曲轴的企业,2005 年制造出了第一根国产化 6S60MC-C 的曲轴,2008 年制造了首根 8K90MC-C 和 WARTAILA 的 8RT-flex68D 曲轴。目前公司产品已覆盖了 MAN 的 S50-S90、瓦锡兰的 RT60-RT82 机型。形成了年产 200 根 50 机及以上规格的船用半组合曲轴的生产能力,目前的生产能力国内最大。

主要研究内容:优化 MAN-B&W70-98 机及 W.NSD 相应机型曲轴锻件关键制造技术;80 吨级钢锭下注技术;曲拐锻件的近终形锻造技术;电渣熔铸曲拐毛坯技术。

预期目标:实现从 60 到 1080 全系列大型船用曲轴锻件的自主生产;2015 年达到与年产 360 根曲轴相配套的生产能力。

研制进度:2011~2015 年,经费预算:2000 万元。

## **2 千吨级高压大型加氢反应器制造技术**

在石油化工领域,随着现代工业制造技术的发展,以加氢和煤液化反应器为代表的重型容器正在向着大型化

主要研究内容:(1)对加氢反应器材料 Cr-Mo-V(改良 2.25Cr-1Mo-1/4V 钢和 3Cr-1Mo-0.25V-Ti-B)的材料和力学性能进行研究,解决反应器壳体材料力学性能波动值大、强度较低的问题;(2)精炼与铸锭技术研究;(3)提高毛坯材料利用率研究等。

预期目标:掌握重量千吨级,压力 20MPa 的大型加氢反应器的制造技术。达到国际先进水平。

研制进度:2011~2015 年,经费预算:2000 万元。

## **3 热加工工艺模拟技术的应用**

由于国内大型铸锻件数值模拟技术刚起步,与国外的技术水平差距很大,锻件毛坯肥头大耳、尺寸精度低,加工余量大,制造周期长,生产成本低,产品竞争能力弱。200 吨以上特大型锻件(使用 300 吨以上钢锭)制造,百万千瓦级核

电锻件等研发工作近年刚刚起步。由于工业性试验的投资巨大,采用计算机数值模拟技术进行钢锭凝固、锻造、热处理工艺设计和优化,能有效节约产品研发投资和缩短研发周期。

通过对大型铸锻件生产工艺技术的数值模拟,设计和优化制造工艺,掌握制约我国重大装备制造业发展大型铸锻件制造的关键核心技术,提高企业的自主创新能力,提升国家整个重型装备制造水平,满足我国国民经济和国防建设对重大技术装备的需求。

主要研究内容:利用热加工系统各专业商业模拟软件,对大型铸锻件行业企业重大产品(以第三代 AP1000 核电铸锻件、大型电站铸锻件及为大型航空航天铸锻件为目标)进行试制前的数值模拟计算,优化产品工艺。

预期目标:掌握和推广应用热加工各专业数值模拟软件,指导首件生产,提高产品一次合格率;优化产品工艺,实现低成本批量制造。

研制进度:2011~2015 年,经费预算:3000 万元。

#### **4 600 吨级钢锭冶炼与铸造技术**

钢锭大型化是适应大功率机组核电锻件与火电锻件、重型容器锻件及冶金特大支承辊等产品的需要。2004 年前的 20 年间我国钢锭等级一直停留在 200 吨级(最大钢锭 260 吨)水平;2004 年后钢锭等级开始快速增长,先后跨过 300 吨级、400 吨级与 500 吨级三个级别,取得显著成绩。

600 吨级钢锭主要用于以第三代核电半速转子(低压转子、发电机转子)等为代表的特大型锻件。

主要研究内容:1) 600 吨级钢锭精炼技术研究;2) 600 吨级钢锭模设计与优化;3) 600 吨级钢锭凝固过程模拟;4) 偏析预测与质量分析。

预期目标:600 吨级钢锭冶金质量满足产品技术要求,达到国内先进水平。

研制进度:2011~2013 年,经费预算:2000 万元。

#### **5 200 吨级空心钢锭研制**

随着核电、石化、电力等工业的飞速发展,对大型筒类锻件需求量越来越大,要求也越来越高。一方面是产品规格及重量在不断增大,质量要求日益提高;另一方面是采用实心钢锭锻制大型空心锻件,由于钢锭规格太大,给冶炼、锻造过程带来较大困难(指合浇能力、镗粗、冲孔过程),且锻造工序多、切除量大,制造成本高;并且大的实心钢锭偏析大,难以满足不了厚壁筒类锻件对均质性的要求。而空心钢锭由于钢液凝固是内外同时凝固冷却,其特定的冷却条件,使其更加致密、偏析相对较小、疏松少,内部质量高可以满足用户对产品的要求。空心钢锭还具有以下特点:可以节省 20%钢水,减少锻造镗粗与冲孔工序。

目前国际方面,法国 Creusot 公司在空心钢锭核心制造技术处于领先地位。它的铸造凝固点达到空心壁厚的中心部位,空心钢锭也达到 200t 左右,其锻件主要用于核电产品。

使用中空钢锭制造空心锻件,可以大大降低冶炼成本及锻造成本,对我国开展降低成本战略,提高竞争力,加速开发加氢反应器、核电压力容器等特大型产

品具有非常现实的意义。

主要技术研究内容：芯子结构设计与数值模拟计算分析；100 吨级空心钢锭试验研究；芯子与冶金附具设计；200 吨级空心钢锭凝固数值模拟与浇注工艺研究；特大型空心钢锭冶金质量控制技术研究；锻造成形工艺研究；钢锭偏析分析等。

预期目标：采用新型冷却方式，提高钢锭心部冷却能力，减轻凝固偏析；通过 100 吨空心钢锭试验研究，改进芯子与冶金附具设计；使用 200 吨级空心钢锭制造大型核电筒体锻件，性能与质量达到产品目标要求。

## **6 海上油气开采设备钻井平台用张力腿等锻件的研制**

随着人类对油气资源开发利用的深化，油气勘探开发从陆地转入海洋。因此，钻井工程作业也必须在浩瀚的海洋中进行。在海上进行油气钻井施工时，几百吨重的钻机要有足够的支撑和放置的空间，同时还要有钻井人员生活居住的地方，海上石油钻井平台就担负起了这一重任。由于海上气候的多变、海上风浪和海底暗流的破坏，海上钻井装置的稳定性和安全性更显重要。

海洋钻井平台（drilling platform）是主要用于钻探井的海上结构物。平台上装钻井、动力、通讯、导航等设备，以及安全救生和人员生活设施，是海上油气勘探开发不可缺少的手段。主要分为移动式平台和固定式平台两大类。

2008 年共有 60 套钻井装备成交，订造量再创近几年新高。这 60 套钻井装备包括自升式钻井平台 26 座、半潜式钻井平台 15 座、钻井船 19 艘。其中，深水装备占总订单量的比例从 2007 年的 48% 上升到 2008 年的 57%，成为投资重点。

预期目标：研制出大型海上油气开采设备钻井平台用张力腿等锻件，性能达到标准要求，并实现批量化生产。

研制进度：2011～2013 年，经费预算：1000 万元。

本项目研发资金包括设备费、材料费、测试化验加工费、燃料动力费、国际合作交流费、出版/文献/信息传播/知识产权事务费、专家咨询费、差旅费、会议费、管理费等，预计所需研发资金约 1 亿元。

附表 5 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（其它大型铸锻件及共性技术）（附后）

2010 年 5 月 27 日

附表 1

重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型核电铸锻件）

序号	项目名称	主要研究内容	预期发展目标	实施年限	经费预算
1	AP1000 核岛压力容器（RPV）锻件的研制	<p>包括整体顶盖锻件、一体化接管段锻件、堆芯筒体锻件、过渡段锻件及下封头锻件等研制。主要研制内容：</p> <p>1) 超纯净钢冶炼技术研究；</p> <p>2) 大型超厚板坯锻透、压实技术研究，大型厚壁筒体锻件均质性研究，形状复杂锻件的仿形锻造技术及工装设计；</p> <p>3) 热处理细化晶粒技术研究；</p> <p>4) SA508-3 Class1 钢淬透性性能研究。</p>	<p>主要力学性能要求：</p> <p>室 温 拉 伸 ： <math>R_{p0.2} \geq 345\text{Mpa}</math> 、  <math>R_m = 550 \sim 725\text{Mpa}</math> 、 <math>Z \geq 18</math> 、 <math>Z \geq 38\%</math> ，  <math>RTNDT \leq -12^\circ\text{C}</math>。</p> <p>预期目标：全套锻件合格交货并具备批量化生产能力。</p>	2011-2015	10000 万元
2	AP1000 核岛蒸汽发生器（SG）锻件研制	<p>包括椭球封头锻件、锥形筒体锻件、管板锻件、水室封头锻件及上下筒体锻件等研制。主要研究内容：</p> <p>1) 超纯净钢冶炼、浇注技术研究及钢锭锭型设计；</p> <p>2) 特厚饼形件锻透、压实工艺及防止产生夹杂性裂纹和有效减小片状夹杂物的锻造工艺，形状复杂锻件的仿形锻造技术及工装设计；</p> <p>3) 热处理细化晶粒技术研究；</p> <p>4) SA508-3 Class2 钢锻件的热处理工艺优化及回火参数研究。</p> <p>5) 大直径薄壁筒体热处理防变形措施研究。</p>	<p>主要力学性能要求：</p> <p>室温拉伸： <math>R_{p0.2} \geq 450\text{Mpa}</math> 、 <math>R_m = 620 \sim 795\text{Mpa}</math> 、 <math>Z \geq 18\%</math> 、 <math>Z \geq 38\%</math> ， <math>RTNDT \leq -21^\circ\text{C}</math>。</p> <p>预期目标：全套锻件合格交货并具备批量化生产能力。</p>	2011-2015	10000 万元

3	AP1000 核岛一回路 锻造主管道锻件研 制	包括冷段与热段。主要研究内容： 1) 大型超低碳控氮 316LN 不锈钢冶炼技术及特大型不 锈钢锭的浇注技术研究； 2) 带管嘴超低碳奥氏体不锈钢整锻成型锻造工艺及晶 粒细化控制方法； 3) 大直径管道弯曲成型技术研究； 4) 大直径、超长直管机械加工技术；大直径旁通管嘴 相贯线机械加工技术； 5) 热处理防变形措施研究。	根据美国西屋公司主管道制造技术 规格书的要求，按照设计图纸进行全 直径锻造主管道研制，完成各项检 验、试验项目及尺寸满足设计要求。	2011-2015	5000 万元
4	AP1000 常规岛整体 低压转子锻件研制	1) 多包精炼控制与精炼技术研究； 2) 600 吨级钢锭浇注与钢锭偏析控制技术研究； 3) 锻造成形方式与中心压实工艺研究； 4) 热处理技术研究； 5) 加工技术研究等。	材料牌号：30Cr2Ni4MoV (10325MUB、 10325UC)； 熔炼分析、气体含量、力学性能都有 具体量值要求，中心部位晶粒度大于 2 级，表层部位晶粒度大于 3 级。 预期目标：掌握重量为 600 吨级钢锭 的锻件制造技术，研制出符合性能与 质量要求的常规岛整体低压转子锻 件。	2011-2015	
5	AP1000 核电整体发 电机转子锻件研制 与批量化生产	1) 精炼技术研究； 2) 500-600 吨级钢锭浇注与钢锭偏析控制技术研究； 3) 锻造成形方式与中心压实工艺研究； 4) 热处理技术研究； 5) 加工技术研究等。	材料牌号 3.5NiMoV 化学成分和主要力学性能有详细量值要 求，并满足转子探伤技术要求。 掌握重量≥500 吨级钢锭的锻件制造技 术；研制出符合性能与质量要求的常规 岛整体发电机锻件；并批量化生产。	2011-2013	3000 万元

6	核电常规岛用焊接特大型低压转子研制	<p>主要内容：</p> <p>1) 冶炼与铸锭技术研究；</p> <p>2) 锻件成形技术研究；</p> <p>3) 焊接技术研究等。</p> <p>焊接技术研究包括：耐热合金钢焊接物化冶金机理；信息与质量的映射规律；多场耦合演化过程等。</p>	掌握与优化焊接型特大低压转子热加工工艺优化，实现电站关键大件，如低压转子等的盘轴组合、深窄坡口焊接制造。创新一种以小拼大的制造方法。	2011-2015	5000 万元
7	AP1000 主泵泵壳研制	<p>1) 超低碳奥氏体不锈钢冶炼工艺研究；</p> <p>2) 研究铸件的充型过程，确定合理的浇注系统设计方式以及在浇注过程中的有效保护措施；</p> <p>3) 提高铸件致密性的措施研究；</p> <p>4) 结合铸件材料的特性，研究达到铸件所需毛坯表面粗糙度要求的精整工艺以及提高精整效率的工艺措施；</p> <p>5) 组织控制与热处理工艺研究。</p>	根据技术规格书的要求，按照设计图纸进行研制，完成各项检验、性能指标达到设计要求。	2011-2013	2000 万元
8	核电大锻件的研制——AP1000 稳压器、补水箱锻件及高温气冷堆锻件	<p>本项目主要研究内容包括 AP1000 稳压器上封头、下封头锻造成型与模具设计及产品研制；AP1000 补水箱锻件的研制，高温气冷堆锻件的研制等。AP1000 补水箱锻件的研制，共包括壳体锻件 I、壳体锻件 II、封头锻件 I、封头锻件 II、接管锻件 I、接管锻件 II、人孔锻件及人孔盖板锻件共 8 种锻件；高温气冷堆锻件的研制，共包括顶封头、风机壳筒体下法兰、风机支承法兰段、热气导管管嘴法兰、上筒体、筒体法兰及下封头共 7 种锻件。</p>	通过系统研究，研制出符合各项技术要求的产品。	2011-2013	9500 万元

9	核电堆内构件不锈钢锻件整套研制	1) 精炼技术研究; 2) 锻造成形工艺研究; 3) 形状复杂不锈钢锻件的加工技术研究; 4) 不锈钢锻件装配及焊接工艺研究。	研制出产品, 产品达到各项性能指标要求。	2011-2013	4000 万元
10	AP1000 稳压器成台设备的研制	1) 精炼技术研究; 2) 钢锭凝固数值模拟与钢锭优化设计研究; 3) 锻造成型及模具设计研究; 4) 筒体堆焊技术研究; 5) 异种钢焊接工艺研究; 6) 大型薄壁封头及筒体机加工工艺研究。	研制出产品, 产品达到各项性能指标要求。	2011-2013	3000 万元
11	AP1000 波动管研制	主要研究内容: 1) 大型超低碳控氮 316LN 不锈钢冶炼技术研究; 2) 整锻成型锻造工艺及晶粒细化控制方法研究; 3) 复合弯管技术研究; 4) 机械加工技术研究; 5) 热处理防变形措施研究。	研制出产品, 产品达到各项性能指标要求。	2011-2015	3000 万元
12	大型核废料罐锻件研制	1) 大型核废料罐整锻成型工艺及工装设计; 2) 整锻大型核废料罐加工技术研究; 3) 晶粒细化技术及热处理工艺研究。	研制出产品, 产品达到各项性能指标要求。	2011-2015	2000 万元
13	AP1000 核电大型关键件加工工艺研究	1) 封头外部各凸台与外部球体相交弧面的加工技术研究; 2) 封头各孔及与内球体相交各弧面的加工技术的研究; 3) 大直径、超长直管机械加工技术, 大直径旁通管嘴相贯线机械加工技术; 4) 超大、超长厚壁筒体加工技术研究, 大型饼形件翻转工装设计。	研究与优化特殊锻件加工工艺, 设计专用工装与检测工具, 提高加工效率; 产品尺寸满足满足设计要求。	2011-2015	1000 万元



附表2 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型火电与水电机组铸锻件）

序号	项目名称	主要研究内容	预期发展目标	实施年限	经费预算
1	百万千瓦级超临界、超超临界火电机组全套大型铸锻件的制造技术	主要研究内容有： 1) 3.5%NiCrMoV 超纯钢汽轮机低压转子标准、材料、制造技术及主要性能的研究；2) 12%Cr 系汽轮机高中压转子标准、材料、制造技术及主要性能的研究；3) 12%Cr 汽轮机耐热铸钢缸体标准、材料、批量制造技术及主要性能提高研究；4) 18Mn—18Cr 含氮发电机无磁护环标准、材料、制造技术及主要性能的研究，达到能够国产化自主生产。研究制定全套我国的超超临界大型铸锻件技术标准。	超纯钢汽轮机低压转子材料牌号： 30Cr2Ni4MoV-B3，30Cr2Ni4MoV-B4。 超纯钢汽轮机低压转子主要技术指标： $R_{p0.2} = 700-800 \text{ N/mm}^2$ ； $R_m \leq 1000 \text{ N/mm}^2$ ； $A \geq 13\%$ ； $Z \geq 40\%$ ； $A_{kv}(\text{常温}) \geq 30 \text{ J}$ ； $FATT_{50} \leq 50^\circ\text{C}$ ；高温持久（温度： $600^\circ\text{C}$ ，应力： $230\text{MPa}$ ） $\geq 500 \text{ h}$ 。 预期目标：全套铸锻件合格交货并实现稳定批量化生产。	2011-2015	10000 万元
2	高低压联合机组高低压联合转子的制造技术	材料牌号：24Cr2Ni1Mo1V 主要加快高低压复合转子的材料及制造研究开发，区分热处理技术的开发和应用。	掌握 200MW 以上的燃气-蒸汽联合循环发电机组用高低压复合转子产品的制造技术，制造技术达到国际先进水平，并完成相应技术标准编制。形成订货合同，并合格交货。	2011-2013	2000 万元
3	大型燃气轮机系列高温材料锻件（转子、轮盘及拉杆等）	主要研究内容： 1) 12Cr%超纯钢电渣重熔工艺研究； 2) 燃气轮机轮盘锻造工艺研究与数值模拟优化；	材料牌号：D50A663 力学性能要求如下： $R_{p0.2} \geq 655 \text{ MPa}$ ； $R_m 790-890 \text{ MPa}$ ； $A \geq 13\%$ ； $Z \geq 35\%$ ； $FATT_{50} \leq -73^\circ\text{C}$ 。	2011-2013	3000 万元

		3) 转子及拉杆等锻造工艺研究; 4) 热处理工艺研究。	预期目标: 完成重型燃气轮机组铸锻件标准以及产品的研制并合格交货。掌握 12Cr%超纯钢燃气轮机叶轮、转子、燃气轮机缸体、阀体的制造技术并达到批量生产的能力, 完成相应标准的研制。		
4	长江三峡水利枢纽升船机齿条、螺母柱及二期预埋件设备的研制	主要研究内容: 1) 冶炼与浇注技术研究; 2) 铸造数值模拟与工艺优化; 3) 调质热处理工艺研究; 4) 表面感应淬火热处理工艺研究; 5) 加工工艺研究等。	材料: G35CrNiMo6-6+QT1。 齿条部技术要求: 齿面硬度: HV610±20; 接触疲劳极限应力: 1170 N/mm <sup>2</sup> ; 弯曲疲劳极限应力: 360 N/mm <sup>2</sup> ; 单件重量: 10000Kg; 显微晶粒度为 7.0 级或更细; 齿牙部位和心部缺陷当量尺寸均不大于 Φ3; 齿牙区域心部不得有铁素体组织; 铸件表面不得补焊; 铸件调质处理硬度为 HB260~300; 表面感应淬火后的齿面硬度(包括齿根部位)为 HV610, 偏差不得大于±HV20, 淬硬层深度为 6mm。 螺母柱技术要求: 显微晶粒度为 7.0 级或更细; 螺牙部位和心部缺陷当量尺寸均不得大于 Φ3; 铸件表面不得补焊。调质处理螺纹面的硬度为 HB250, 允许变化范围±HB20。 预期目标: 齿条部调质热处理与表面感应淬火热处理后硬度、晶粒度、接触疲劳极限应力、	2011-2013	3000 万元

			弯曲疲劳极限应力等性能指标达到要求，铸造质量达到要求。螺母柱铸造质量达到要求，热处理硬度满足要求。研制出产品，产品达到各项性能指标要求，达到国内先进水平。		
5	大型抽水蓄能机组成套设备大型铸锻件	1) 钢水精炼技术研究; 2) 铸造工艺数值模拟与工艺优化; 3) 热处理工艺研究; 4) 工艺优化与批量生产技术。	完成 30 万千瓦及以上的大型抽水蓄能机组成套大型铸锻件的材料以及产品的开发研究，相应标准的研制。	2011-2015	2000 万元
6	2MW 级以上风电及海上风电机组铸锻件研制	1) 2MW 以上的大型风电机组铸锻件制造技术; 2) 3MW 级的大型海上风电机组铸锻件制造技术; 3) 批量化生产技术。 包括风电齿轮箱、叶片以及主轴等产品的研制，	形成批量成熟的产品和自主知识产权。完成风电机组大型铸锻件产品的研制，形成我国自主的风电材料和铸锻件标准体系。	2011-2015	2000 万元

附表 3

重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型模锻件）

序号	项目名称	主要研究内容	预期发展目标	实施年限	经费预算
1	大运机用 300M 钢锻件在 800MN 压机上成形工艺研究	1) 300M 钢锻件成形工艺特点; 2) 组织性能控制技术; 3) 模锻工序数值模拟技术; 4) 300M 钢热处理制造技术。	形成稳定的大型 300M 钢模锻件生产能力。	2011-2013	1500 万元
2	超高强度不锈钢大型模锻件工艺研究	1) 超高强度不锈钢热锻技术; 2) 超高强度不锈钢模锻成形与数值模拟技术研究; 3) 精炼技术研究; 4) 组织性能控制技术研究; 5) 理化性能试验研究。	掌握超高强度不锈钢工艺特性以及组织控制技术; 研制出产品, 力学性能达到指标要求。	2011-2015	2000 万元
3	烟气轮机用高温合金大型涡轮盘锻件成形工艺及产品研制	1) 高温合金材料物理参数测试; 2) 材料工艺参数试验研究; 3) GH864 高温合金大型钢锭冶炼技术; 4) 大型坯料墩拔技术研究; 5) 模锻成形工艺与数值模拟优化技术研究; 6) 组织性能控制技术。	研制产品能满足千万吨炼厂大型烟机的需求, 形成稳定的高温合金大型涡轮盘锻件生产能力。形成完全自主知识产权, 打破瓶颈, 彻底摆脱受制于人的局面。	2011-2015	3000 万元

4	大型钛合金况整体锻造的工艺及产品研制	1) 钛合金材料模拟特性参数测试; 2) 大型复杂整体构件等温局部加载精确成形仿真优化技术; 3) 等温局部加载精确成形关键技术工程化; 4) 大型组合模具及模块化技术; 5) 大型复杂整体构件预制坯技术; 6) 新型钛合金材料特性、工艺参数研究; 7) 组织性能控制技术研究等。	掌握大飞机用(军用或商用)大型钛合金工艺特性, 模锻成形与组织控制技术。	2011-2015	4000 万元
5	7×××系列铝合金材料特性及锻造工艺研究	1) 铝合金工艺参数试验与模拟参数测试研究; 2) 大型铝合金模锻成形工艺与数值模拟应用技术研究; 3) 组织性能控制技术研究。	完成大型铝合金模锻件工艺特性研究, 模锻成形与热处理技术研究, 形成大尺寸铝合金锻件的制造能力。	2011-2015	3000 万元
6	大型阀体、阀箱模锻成型技术研究	1) 材料工艺性能试验研究; 2) 精炼技术研究; 3) 大型阀体模锻成形工艺与数值模拟应用研究; 4) 大型阀箱模锻成形工艺与数值模拟应用研究; 5) 热处理技术研究。	掌握大型阀体、阀箱模锻件材料特性、模锻成形及热处理技术, 研制出合格产品。	2011-2025	1000 万元

7	大型发动机粉末高温合金工艺研究	1) 粉末高温合金材料参数测试、工艺特性试验研究。 2) 模锻成形工艺技术研究; 3) 组织与性能控制技术研究。	完成粉末高温合金锻件工艺特性研究 , 模锻成形工艺与性能控制技术研究; 研制出合格产品。	2011-2015	3000 万元
8	大型船用模锻件研制	1) 精炼技术研究; 2) 毛坯锻造与形状控制技术研究; 3) 模锻成形工艺与数值模拟应用研究; 4) 热处理工艺与变形控制; 5) 加工工艺研究。	完成大型船用模锻件制造工艺研究工作, 形成一种以上产品稳定的生产能力。	2011-2013	1500 万元

附表4 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（大型冶金铸锻件）

序号	项目名称	研发内容	预期目标	研发年限	经费预算
1	5 米级特厚板轧机用 200t 以上大型支承辊研制	1) 400 吨级钢锭浇铸工艺研究，其中包括钢锭设计与凝固数值模拟、冒口尺寸与吊耳设计、钢锭水冒口成份偏析分析等等； 2) 附具设计、变形过程机理研究； 3) 热处理工艺形式及其材料选用； 4) 锻造工艺及其加工工艺试验研究等。	技术水平达到世界先进水平，并实现产品批量化生产。	2010-2013	3000 万元
2	离心复合工作辊研制	主要技术指标： 用于精轧前架的高速钢离心复合工作辊需满足十周期轧制制度，轧制量需达到 40000t/mm 左右；用于粗轧机架的下一代半高速钢离心复合工作辊轧制量需达到 50000t/mm；用于粗轧机架的改进型高铬钢离心复合工作辊轧制量需达到 30000t/mm；用于精轧前架的改进型高铬铁离心复合工作辊轧制量需达到 8000 t/mm；用于精轧后架的改进型高镍铬钼离心复合工作辊轧制量需达到 6000 t/mm。	达到设定的技术指标	2009-2011	2000 万元

3	新型材料大型支承辊研制	<p>主要内容：</p> <p>1) 新型材料合金元素的调整与化学成份优化设计；</p> <p>2) 材料特性试验与工艺试验研究；</p> <p>3) 锻造成形数值模拟与工艺优化研究；</p> <p>4) 热处理工艺与数值模拟分析研究；</p> <p>5) 工艺优化、质量控制与批量化生产。</p>	<p>主要技术指标：</p> <p>轧辊型式：整段式轧辊对象：冷轧支承辊，热轧支承辊，中厚板轧机支承辊。</p> <p>轧辊规格：<math>\phi 900\sim 18100\text{ mm}</math>；辊身表面硬度：冷轧支承辊：HS65~70；热轧支承辊：HS60~65；中厚板轧机支承辊：HS55~60；硬度均匀性：<math>\Delta\text{HS}\pm 2</math>；淬硬层深度：<math>\geq 70\text{mm}</math>；硬度降低度：<math>\leq \text{HS}5</math>；辊颈硬度：HS40~50；轧辊 JB/T4120—93 标准超声波探伤检查。</p> <p>使用寿命在现有 4%Cr，5%Cr 锻钢支承辊的基础上提高 20%。</p>	2010-2015	2000 万元
4	多段组合式大型支撑辊关键技术研究	多段辊套使得单个辊套高度大大降低，因而能够大幅度降低生产成本。此类组合式支承辊，其辊环及辊芯在热力耦合状态下，应满足的强度条件及设计准则，将是本课题研究的重点。	开发一种多段辊套组合内冷式大型支撑辊，辊芯可以重复使用，适合轧环机批量生产或锻造生产。	2011-2015	2000 万元



附表5 重型机械“十二五”科研和新产品开发项目（建议）（其它大型铸锻件及共性技术）

序号	项目名称	主要研究内容	预期发展目标	实施年限	经费预算
1	大功率低速船用曲轴锻件研制及批量化生产	1) 优化 MAN-B&W70- 98 机及 W.NSD 相应机型曲轴锻件关键制造技术; 2) 80 吨及以下钢锭下注技术; 3) 曲拐零件的近终形锻造技术; 4) 电渣熔铸曲拐零件技术。	实现从60到1080全系列大型船用曲轴锻件的自主生产; 2015 年达到与年产 360 根曲轴相配套的生产能力。	2011-2015	2000 万元
2	千吨级, 高压力重型加氢反应器制造技术	1) 对加氢反应器材料 Cr-Mo-V (改良 2.25Cr-1Mo-1/4V 钢 和 3Cr-1Mo-0.25V-Ti-B) 的材料和力学性能进行研究, 解决反应器壳体材料力学性能波动值大、强度较低的问题; 2) 精炼与铸锭技术研究; 3) 提高毛坯材料利用率研究等。	掌握重量千吨级, 压力 20MPa 的大型加氢反应器的制造技术。达到国际先进水平。	2011-2015	2000 万元
3	热加工工艺模拟技术的应用	利用国家级技术中心与国家工程实验室平台, 应用热加工系统各专业商业模拟软件, 对大型铸锻件行业企业重大产品 (以第三代 AP1000 核电铸锻件、大型电站铸锻件及为大型航空航天铸锻件为目标) 进行试制前的数值模拟计算, 优化产品工艺。	掌握和推广应用热加工各专业数值模拟软件, 指导首件生产, 提高产品一次合格率; 优化产品工艺, 实现低成本批量制造。	2011-2015	3000 万元

4	600t 级钢锭冶炼与铸造技术	1) 600t 级钢锭精炼技术研究; 2) 600t 级钢锭模设计与优化; 3) 600t 级钢锭凝固过程数值模拟计算与分析; 4) 多包成分差别控制、偏析预测与质量分析。	600t 级钢锭冶金质量满足产品技术要求, 达到国内先进水平。	2011-2013	2000 万元
5	200 吨级空心钢锭研制	主要技术研究内容: 1) 芯子结构设计与数值模拟计算分析; 2) 100 吨级空心钢锭试验研究; 3) 芯子与冶金附具设计; 4) 200 吨级空心钢锭凝固数值模拟与浇注工艺研究; 5) 特大型空心钢锭冶金质量控制技术研究; 锻造成形工艺研究; 6) 钢锭偏析分析等。	预期目标: 采用新型冷却方式, 提高钢锭心部冷却能力, 减轻凝固偏析; 通过 100 吨空心钢锭试验研究, 改进芯子与冶金附具设计; 使用 200 吨级空心钢锭制造大型核电筒体锻件, 性能与质量达到产品目标要求。	2011-2015	2000 万元
6	海上油气开采设备钻井平台用张力腿锻件以及节点的研制	1) 材料使用特性研究; 2) 提高冶金质量技术研究; 3) 锻造成形工艺研究; 4) 热处理工艺与性能控制技术研究。	研制出大型海上油气开采设备钻井平台用张力腿锻件, 性能达到标准要求, 并实现批量化生产	2011-2013	1000 万元