

商业计划书

企业（项目）名称： 哈尔滨工业大学

高性能纳米结构陶瓷粉体材料产业化

联 系 人：

电 话：

二〇一五年三月制

目 录

一、 项目基本情况.....	1
二、 项目团队情况.....	10
三、 研究与开发.....	13
四、 行业及市场.....	15
五、 风险及对策.....	23
六、 项目投资方案及估算.....	24
七、 经济和社会效益分析.....	27
八、 项目落地转化方式和资金筹措方案.....	33
九、 项目落地转化亟需解决的关键问题.....	34
十、 省内落地产业化基础.....	34
十一、 特殊需求.....	38

一、项目基本情况

1. 产品技术的背景

1970 年代纳米科技悄然诞生，1980 年代纳米科技飞速发展，1990 年代纳米科技趋于成熟，进入 21 世纪纳米科技成果不断涌现令人应接不暇。可以说我们已经进入了纳米时代。

所谓纳米科技就是在纳米尺寸(10^{-9} — 10^{-7} m) 范围内认识和改造自然, 通过直接操作和安排原子、分子创制新的物质。美国国防部基础研究办公室发言人 Clifford Lau 说: 纳米科技将最终改变战争, 其影响甚至将超过火药的发明; 纳米科技将影响武器、通信和人员的各个方面。

如今, 以知识经济为主旋律和推动力正引发一场新的工业革命, 节省资源能源、净化生存环境是这场工业革命的核心, 纳米技术在生产方式和工作方式的变革中正发挥重要作用, 其对社会发展、经济繁荣、国家安全和人类生活质量的提高所产生的影响是无法估量的。

2000 年, 我国政府推出了促进纳米技术繁荣的报告, 明确指出: 启动纳米技术促进计划, 关系到我国在 21 世纪的竞争实力。权威专家预测, 纳米技术、信息技术和生物技术成为 21 世纪社会经济发展的三大支柱, 也是当今世界大国争夺的战略制高点。纳米科技是 21 世纪最具前途的科研领域之一, 成为我国引领未来发展、实现重点跨越的四个重中之重的领域之一。

纳米科技与纳米材料正冲击多个行业, 包括航空航天、军舰船舶、汽车火车、机械装备、石油化工、能源开发、环境保护、医药保健、食品安全、资讯通信等。中国有关纳米基础研究论文数量早已位于世界第一, 但忽视了实用纳米技术的研究开发。相比之下, 一些发达国家有关纳米材料和纳米科技应用方面的研究开发却相继取得成果。

材料、能源、信息被作为 21 世纪的三大支柱产业。今天, 我们材料科学工作者正沿着诺贝尔奖得主费曼指出的道路, 争取在原子和分子水平上控制物质, 力求使材料发挥出新的独特而优异的效应。纳米材料自问世以来, 受到人们的高度关注, 目前已成为最为活跃的研究

领域。纳米材料在电子行业、装备制造、生物医药、环保等领域都有着广阔的开发潜力。

不争的事实是：具有微米或亚微米级晶粒尺寸的传统工业材料几乎已达到了产品性能的极限，而具有纳米数量级晶粒尺寸的纳米材料则能赋予产品以奇特而优异的性能。如，纳米材料具有十分优越的强度、硬度、高温塑性，还有优异的耐磨和抗蚀性能等。因此，纳米材料为在高技术和国民经济支柱产业上的应用提供了非常广阔的发展前景，纳米技术和纳米材料的开发与利用也为传统企业带来了生机。

热喷涂技术是工业领域中应用十分广泛的表面工程技术。自 20 世纪 50 年代起，热喷涂技术就已用于航空发动机的热障涂层、封严涂层、抗高温烧蚀涂层、耐磨损涂层。据文献报道，美国航空飞机中需要采用热喷涂技术的零件至少 7000 多件。迄今为止，航空发动机和燃气轮机的热端部件大多采用等离子喷涂技术，从而使其关键部件的使用寿命提高 3-4 倍。热喷涂技术也大量应用在舰船装备上，如美国海军在舰船上应用的热喷涂陶瓷涂层就有多种多样，其中，仅氧化物陶瓷涂层就用于美国海军装备的数百种零部件上。

在国外，现代热喷涂技术已成为一项迅猛发展的新兴的高科技产业，得到美国、欧盟、日本等发达国家的高度重视。纳米热喷涂技术作为一种新型表面工程技术，是 20 世纪科技发展之一大突破，是材料领域一个里程碑式的发现。纳米热喷涂技术是纳米材料和热喷涂技术的结合和综合应用，长期以来都作为一个特殊的应用领域受到美国军方的重视，这是因为舰船、飞机和陆上装备都面临着极端的服役条件。如今，纳米热喷涂技术已成为热喷涂技术新的发展方向。

上世纪末，两位美国人研究出了纳米粉末的再造粒方法，使具有纳米结构的粉末材料能够用于传统的热喷涂喷枪上，从而使制备出纳米结构热喷涂涂层成为可能。为推进实际应用，这两位美国人作为股东的美国纳米材料集团又采用王铀教授的纳米技术制造出了具有十分优异的强韧性能、耐磨抗蚀性能、抗热震性能及良好的可加工性能的纳米陶瓷涂层，于是才将这种可能变为现实。如所开发出的纳米结

氧化铝/氧化钛陶瓷涂层比目前广泛使用的商用美科 130 涂层有着高出 3-10 倍的耐磨性，高出 1 倍的抗蚀性，高出 1 倍左右的断裂韧性，高出 1-2 倍的结合强度和抗热震性能，高出 5-10 倍的疲劳抗力。

2000 年，纳米结构热喷涂陶瓷涂层技术已通过美国军方技术标准 1687A，获得了美国海军应用证书，并被应用于舰艇的近百个零部件。这是纳米结构涂层在世界上首次获得大范围的工程应用，该技术被美国军方称之为“一项革命性的先进技术”。截止 2003 年底，美国仅海军舰船、潜艇、扫雷艇和航空母舰等装备上就有数百种零部件广泛采用了这种纳米结构陶瓷涂层材料，成倍地提高了武器装备关键零部件的耐磨损、抗腐蚀和耐热冲击等性能，有效地提高了海军武器的作战能力，大幅度延长了维修期，提高了舰船的续航能力，节约了装备研制和维修成本，取得了十分重大的经济和军事效益。2001 年，该技术获得被美国媒体誉为应用发明诺贝尔奖的“世界研究开发百项奖”和美国国防部“军民两用先进技术成就奖”。2004 年该等离子喷涂纳米结构陶瓷涂层技术获得世界经济论坛的“技术先驱奖”。

尽管如此，美国仍在投巨资组织多个学科协同攻关，继续对这一领域的技术应用和工艺进行深入研究。

在我国，纳米材料连续四个五年计划被列入重点发展领域，但由于体制、机制、观念以及西方国家有意的技术封锁等一系列原因，纳米热喷涂涂层技术在我国炒作得多，研究的少，真正有价值的研究成果更少，目前大多处于研发阶段，尚未进入实际的工程应用。为了提高我军的装备现代化水平，经国防科工委批复同意的中国船舶重工集团公司“水中兵器基础条件建设规划”，进一步明确了研制满足新型水中兵器装备和大深度壳体及动力装置需要的抗磨损、耐腐蚀、热障的重要零部件思路，安排了“高性能精细纳米陶瓷涂层研究”建设子项目。并责成第七〇五研究所等单位完成具有工程应用价值的高性能纳米结构陶瓷热喷涂材料的制备技术和工艺流程研究。

于是在 2005-2006 年间，中国船舶重工集团第七〇五研究所、第十二研究所等单位，与哈尔滨工业大学的著名纳米材料专家王铀博士

组成课题组，展开高性能氧化铝/氧化钛纳米陶瓷喷涂材料及其热喷涂技术的攻关，历时一年多时间，连续取得初试、中试成功，并于2006年11月底顺利通过中国船舶重工集团公司的技术鉴定（附件1：鉴定结论），发明专利已经获得国家专利局授权（附件2：相关专利）。相关的理论和应用研究成果于2011年获得黑龙江省科学技术奖二等奖，2012年获得黑龙江省冶金行业科技进步奖一等奖，2013年获得黑龙江省高校科学技术奖一等奖，2013年获得黑龙江省科学技术奖一等奖（附件3：获奖证书）。

在现代装备制造工业中，很多机器对设备和零部件的性能提出了很高的要求，诸如耐腐蚀、热障、润滑、降低摩擦磨损等。据统计，世界上所生产能源的1/3消耗于摩擦磨损；80%的机械零部件废弃于磨损失效。根据《中国腐蚀调查报告》的资料，我国近年来的年腐蚀损失约占国民经济生产总值的5%，估计仅腐蚀造成的直接经济损失就在1万亿元以上。中国工程院相关统计表明我国因为磨损和腐蚀造成的损失约占GDP的9.5%。

按照现有的通用技术和装备水平，对具有微米级晶粒尺寸的传统涂层材料而言，其性能进一步提升的空间极为有限。要依托选择材料来满足使用需求有很多困难，有时即使能达到要求也不能保证其稳定性，而且要付出十分昂贵的成本。而具有纳米级晶粒尺寸的高性能涂层材料，则由于制造的特殊性而赋予产品许多重要的优越性能。如纳米陶瓷涂层材料具有十分优越的强度、硬度、高温性能，以及优异的耐磨和抗蚀性能等。所以，新型高性能纳米结构涂层材料的研制成功和工程应用，将为传统的热喷涂涂层技术注入新的活力，能赋予材料表面以卓越而奇特的性能，为新材料的工程应用和表面工程技术的发展带来革命性的变化，具有非常广泛的应用前景。

热喷涂高性能纳米结构涂层材料主要用于要求耐磨损、抗腐蚀、耐高温、防辐射、特殊功能等特殊要求的表面强化和防护处理，各种功能涂层的制备和易损零部件的再制造等，其主要工艺目的是形成耐磨、耐蚀、隔热、隐身、减震、降阻、抗氧化、绝缘、导电、防辐射

等具有各种特殊功能的涂层，可广泛应用于航空、航天、船舶、武器装备、电力、冶金、纺织、机械、生物工程等各个领域。

在军用领域，热喷涂技术可以大量应用于飞机、舰船、坦克装甲等武器装备上，纳米热喷涂涂层技术是纳米材料和热喷涂技术的结合和综合应用，长期以来都作为一个特殊的应用领域受到西方发达国家军界的重视，这是因为飞机（包括舰载机）、舰船、航母、海洋装备和陆地装备等都面临着极端的服役条件。而热喷涂纳米结构陶瓷涂层的研究进展说明其有非常广阔的应用前景。特别在目前的国际和周边环境下发展纳米表面热喷涂技术更是刻不容缓的强国强军的需要！

此外，再造粒得到的纳米结构粉体材料不仅适用于热喷涂，还适用于堆焊、激光或电子束熔覆和等离子熔喷等工艺。以后还将会用作3D打印纳米陶瓷材料的耗材。也就是说，该技术有着相当看好的市场转化前景。

综上所述，应用热喷涂纳米涂层，所能取得的社会效益与经济效益极其巨大，无法用数字估量。

2. 目前所处发展阶段

纳米结构热喷涂陶瓷涂层技术的发明人就是王铀教授，他在美国亲自参与了纳米结构热喷涂陶瓷涂层材料产品的研发、生产和现场考核的全过程。鉴于该技术被美国海军广泛应用，王铀在旅居北美十年多以后选择回国，为的就是实现自己的报国强军梦。2004年底，该技术的发明人王铀教授作为海外引进人才被哈尔滨工业大学聘为教授/博士生导师，于是他将这一先进技术带回国内并联合中国船舶重工集团第七〇五研究所、第十二研究所等单位进一步创新取得成功。所以，该技术是100%成熟的可以产业化的新材料技术。

3. 与同类产品的比较竞争优势

本项目粉体喂料产品所达到的主要技术性能指标如下：

粉末形貌：实心球形纳米团聚体；

粉末内部结构：三维网状结构；

粉末体积平均粒径：50 μm；

粉末流动性： $\geq 69.6\text{g}/\text{min}$ ；

粉末振实密度： $\geq 1.85\text{g}/\text{cm}^3$ ；

粉末松装密度： $\geq 1.60\text{g}/\text{cm}^3$ 。

通过对纳米结构热喷涂喂料及涂层性能的分析 and 对比试验，得出下述结论：

本项目产品应用国产原材料和国内现有设备制备出的纳米改性强韧化、高致密型纳米结构陶瓷喷涂材料的振实密度高、流动性好、具有非晶/纳米晶三维网络状显微组织结构特征，其各项性能指标达到了美国海军应用同类喂料水平。

本项目产品初步解决了限制陶瓷材料应用的韧性低和抗热震能力差的两大问题。涂层韧性、耐磨性、热震抗力等比目前国内外商用陶瓷材料中质量好、销量大的美科 130 涂层性能明显提高。所研制的纳米结构陶瓷热喷涂工程材料经有关单位检测，各项技术指标达到了美国开发的同类产品水平，各项涂层性能均明显超过商用陶瓷中质量最佳、销量最大的美科 130 涂层。经配料(纳米改性强韧化)→混合研磨制浆→喷雾干燥→烧结致密化→特殊致密化处理→筛分及检测等工艺流程，制造的纳米结构陶瓷热喷涂工程材料产品质量稳定，成品率可达 90%，具备工程推广的良好前景。

本技术将纳米材料和纳米热喷涂技术有机地结合，既属于先进材料技术领域，又属于先进装备制造技术领域。仅就纳米结构陶瓷喷涂材料而言，知识创新、技术创新和产品创新存在诸多的难点，其中尤以陶瓷材料应用的两大问题—陶瓷材料的韧性低和抗热震能力差最为突出，科技含量相当高。目前世界上只有美国海军应用同类纳米结构喷涂产品解决了上述问题，达到了大规模产业化的程度。而目前我们所能做的技术准备，完全可以达到甚至超过美国的水平。

技术优势：与传统的陶瓷涂层相比，用纳米结构陶瓷喷涂材料制备出的纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层比目前广泛使用的同类商用涂层(美科 130 涂层)有着高出 1 倍的韧性，高出 4-8 倍的耐磨性，高出 1-2 倍的结合强度和抗热震性能和高出约 10 倍的疲劳性能。表 1

已给出了纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层、纳米氧化铝/氧化锆陶瓷涂层与纳米热障陶瓷涂层与国际同类涂层的主要技术性能对比。可见本项目产品科技含量相当高，具有明显的技术优势。据多方调研，目前国内尚无产品和技术能出其右。

表 1 纳米涂层与国际同类涂层的技术性能指标

性能指标	Al ₂ O ₃ -TiO ₂ 涂层		Al ₂ O ₃ -ZrO ₂ 涂层		热障涂层		
	Metco130 涂层	纳米涂层	Al ₂ O ₃ -ZrO ₂	纳米 SiC/ Al ₂ O ₃ -ZrO ₂	传统 8YSZ	纳米 8YSZ	纳米 8YSZ/La ₂ Zr ₂ O ₇
涂层厚度(mm)	0.2-0.4	0.2-0.5	0.2-0.6	0.2-0.6	0.2-0.4	0.2-0.5	0.2-0.5
涂层硬度(HV)	1000	1000~1200	>1000	>1200	--	--	--
涂层孔隙度	4-6%	≤3%	6-7%	<3%	--	--	--
结合强度(MPa)	13.3	33~40	35~40	~40	22.3	28.2	27.5
抗热震性能	41	650℃ 水冷 69 (-35℃ ~65℃) >100	800℃ ~190 1000℃ ~7	800℃ >200 1000℃ >80	1000℃ ~50 1200℃ ~3	1000℃ ~100 1200℃ ~18	1000℃ ~160 1200℃ ~26
涂层耐磨性	7.5×10 ³ N×m/mm ³	40×10 ³ N×m/mm ³	0.1~0.25 mm ³ /s	<0.1 mm ³ /s	--	--	--
涂层抗蚀性	好	优异					
裂纹扩展抗力(J/m ²)	4.4	6.1					
弯曲性能	弯曲 180° 涂层剥落	弯曲 180° 无任何剥落					
疲劳抗力	小于 1.0×10 ⁶ 次	大于 1.0×10 ⁷ 次					
热导率(W/m·K)	--	--	--	--	0.83	0.58	0.47

表 2 则给出了国内外纳米结构陶瓷喷材料的技术指标对比。

表 2、国内外纳米结构陶瓷喷涂喂料的技术指标对比

项目	美国海军应用的喂料	本项目研制的喂料	国内有关单位研制的喂料
成分	Al ₂ O ₃ /TiO ₂ 改性剂	Al ₂ O ₃ /TiO ₂ 改性剂	Al ₂ O ₃ /TiO ₂
外观	黑色、外光滑球形	黑色、外光滑球形	灰白色、表面不光滑
组织结构	实心团聚网状结构	实心团聚网状结构	空心结构为主
松装密度	1.4g/cm ³	1.60g/cm ³	0.45g/cm ³

振实密度	2.0 g/cm ³	1.85g/cm ³	0.6-0.9g/cm ³
流动性	54g/min	69.6g/min	41g/min

价格优势:美国同类陶瓷粉体喷涂喂料目前售价折合人民币 3000 元/kg, 但由于专供美国海军使用所以其它国家和美国本土其它用户根本不可能购买到。国内唯一一家生产的纳米结构 ZrO₂ 喷涂材料售价为人民币 3500~4000 元/kg, 国内非纳米的普通 MCrAlY 合金喷涂喂料售价也高达 2000 RMB/kg。本产品初步市场暂定为 2700-3000 RMB/kg, 具有明显的价格优势。

地缘优势:黑龙江省是我国装备制造业大省, 科研院所林立, 军工企业聚集, 在黑龙江省推广该项目具有渗透性强, 扩散快、商业壁垒低等优势, 利于以点带面, 迅速推广。

4. 产品更新换代周期

由于产品拥有多个系列, 每个系列又有一定的差别, 不同的产品都用于不同的用途, 加之这些产品制备过程技术含量高不易被模仿, 所以产品更新换代的周期一般总需要十几年到几十年。如美科的传统陶瓷喷涂材料都已应用了几十年了, 还在大量使用。

5. 产品标准

用美科的传统陶瓷喷涂材料得到的陶瓷涂层就已经满足美国军方技术标准 1687A, 被美国海军用了几十年。作为新产品, 在美国海军装备上取代美科传统陶瓷涂层的纳米结构陶瓷涂层实际已超越了美国军方技术标准。

6. 产品的生产制造过程、工艺流程

产品生产技术路线:

普通的纳米粉末尺寸小、质量轻, 易被气流吹散或烧蚀, 不能直接用于热喷涂, 因此, 必须采用专门的工艺技术方案, 将纳米粉末制成微米尺度的纳米结构团聚体, 以满足各种热喷涂纳米涂层的要求。

为解决上述问题, 项目产品技术涉及到陶瓷材料尤其是三维网络结构的多组分陶瓷复合材料的成分组成、纳米强韧化配方和由此形成高性能精细纳米结构陶瓷热喷涂工程材料的制备技术、工艺流程和方

法。特别涉及到用于各种机械零部件不同温度条件下耐磨损、耐腐蚀、抗冲击的陶瓷涂层材料，并从以下几项技术上有所突破：

- ① 纳米团聚体颗粒再造粒技术
- ② 纳米团聚体的致密化技术
- ③ 纳米改性强韧化技术
- ④ 热喷涂纳米陶瓷粉体喂料内部的网状结构制备技术
- ⑤ 纳米陶瓷粉体喂料和纳米陶瓷涂层在制备过程中的晶粒长大控制技术
- ⑥ 纳米陶瓷涂层中非晶与纳米晶结构的调控技术

通过以上技术将纳米粉末制成微米尺度的纳米结构团聚体，以满足各种热喷涂纳米涂层的要求；使开发出的球形纳米团聚体热喷涂喂料呈实心结构，使粉体的松装密度、振实密度等指标均达到了美国海军应用的同类产品水平；解决了限制陶瓷材料应用的韧性低和抗热冲（热震）能力差这两大难题。

项目产品工艺流程图：

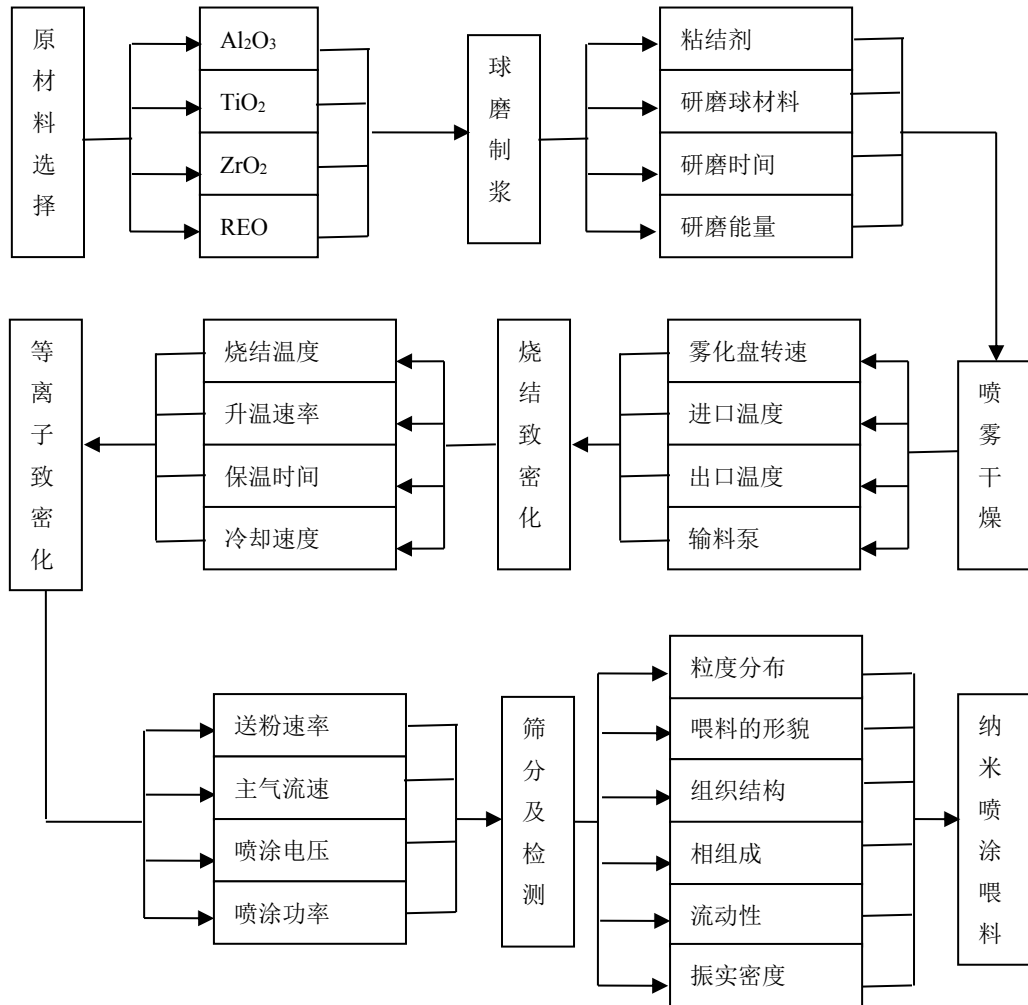


图 1 纳米结构陶瓷喷涂工程材料生产流程图

二、项目团队情况

1. 负责人简介

王铀，男，汉族，1954年生。现任哈尔滨工业大学材料科学系教授、博士生导师。

1989年获哈工大工学博士学位，1991年清华大学博士后出站被评为副教授，1993年任北航教授，1994年至2004年间旅居美国和加拿大，曾任美国标准技术研究院(原国家标准局)客座科学家、美国纳米材料集团高级工程师兼项目经理、加拿大阿尔伯塔大学访问教授。

2004年，作为海外引进人才回到哈工大，被聘为教授、博士生

导师。现为黑龙江省表面工程学会理事长、全国热处理标准化技术委员会委员、黑龙江省新材料专家委员会委员、国际杂志《Journal of Materials Science & Technology》编委会委员、国际杂志《Journal of Mechatronics》编委会委员、《材料热处理学报》编委会委员、《纳米技术》编委会委员、《热处理技术与装备》编委会委员，国际杂志《Journal of Thermal Spray Technology》嘉宾编辑，国际杂志《Surface and Coatings Technology》嘉宾编辑，还为《Wear》、《Thin Solid films》、《Materials Science and Engineering A》、《Tribology letters》、《Corrosion Science》、《Surface Science》等二十多家国内外杂志的审稿人。

王铀教授是 260 余篇科技论文的作者，二十余项美国、中国或国际专利的发明人，数十篇文章为 SCI 收录并为同行在国际杂志引用超过 1500 多次。

曾于 1991 年摩擦学学科创立 25 周年之际获得国际摩擦学理事会主席的专函致谢及英国菲立普亲王殿下亲笔签名的致谢函。

曾被中国摩擦学会授予 1987-1992 年度有突出贡献的先进工作者称号。

1993 年荣获教育部霍英东青年教师基金。

1993 年被评为北京市高等学校优秀青年骨干教师。

2001 年其研发的热喷涂纳米结构陶瓷涂层技术获得“世界研究开发百项奖”。

2001 年其研发的热喷涂纳米结构陶瓷涂层技术获得美国国防部“军民两用研究开发技术奖”。

2004 年其研发的等离子喷涂纳米结构陶瓷涂层技术获得世界经济论坛的“技术先驱奖”。

2007 年获得黑龙江省高等教育教学成果一等奖（第二完成人）。

2008 年荣获黑龙江省第三届留学人员报国奖。

2011 年获黑龙江省高校科学技术奖二等奖（第一完成人）。

还曾被《中国科学报》、《中国航空报》报道，还被收录于《中国

当代名人大典》、《中国英才》、《中国科技脊梁》、《科技强国中流砥柱》、《中国当代知名学者辞典》和《美国列克星顿名人录》等。

上世纪末因在摩擦学和表面工程方面的杰出贡献被英国剑桥国际传记中心选入《二十世纪 2000 杰出科学家》。

2006 年底被《科学中国人》杂志报道。

2011 年，“纳米粉体调控提高陶瓷材料及其涂层的性能研究”获得黑龙江省科学技术奖二等奖（第一完成人）。

2012 年，“纳米结构热喷涂强韧耐磨抗蚀陶瓷涂层”项目获得黑龙江省冶金行业科技进步奖一等奖（第一完成人）。

2013 年，“基于摩擦金属学研究的纳米改性耐磨新材料与应用”项目获黑龙江省高校科学技术奖一等奖（第一完成人）。

2013 年获黑龙江省高等教育教学成果一等奖（第五完成人）。

2013 年，“基于摩擦金属学研究的纳米改性耐磨新材料与应用”获得黑龙江省科学技术奖二等奖（第一完成人）。

2. 团队其他主要成员

王铀教授及所领导的技术团队近年来在纳米结构粉体再造粒方面，纳米结构涂层和纳米改性材料的组织结构、力学性能和耐磨抗蚀性能方面，尤其是纳米陶瓷块体及涂层方面进行了大量理论和应用研究，发表了大量有影响的研究论文，积累了相当的实践经验和理论基础。团队成员熟练掌握纳米粉体再造粒技术、高性能热喷涂纳米结构陶瓷涂层制备技术和相关材料现代分析表征技术等，为保障本项目的产业化奠定了技术基础。

团队主要成员有：

邹志伟，哈尔滨玻璃钢研究院高级工程师，哈尔滨工业大学在读博士生。

王超会，齐齐哈尔大学副教授，哈尔滨工业大学在读博士生。

勾俊峰，哈尔滨工业大学在读博士生。

李学伟，黑龙江科技大学教授，材料科学与工程系主任，哈尔滨工业大学在读博士生。

三、研究与开发

1. 技术先进性和创新性（含横、纵向项目前期支持情况，含专利、获奖等情况）

2001年，该技术获得了“世界研究开发百项奖”和美国国防部“军民两用先进技术成就奖”。

2004年该技术获得世界经济论坛的“技术先驱奖”。

2006年11月底，中国船舶重工集团公司规划发展部在西安主持召开了项目验收暨技术鉴定会。以著名科学家张立同院士为主任委员的项目验收暨鉴定委员会认为该项目技术先进，取得了多项创新成果，成功解决了陶瓷涂层韧性低和抗热震能力差的两大难题，与处于世界领先水平的美国海军在用的热喷涂纳米结构陶瓷粉体材料相比，主要性能达到了同等水平。

2011年，王铀教授作为第一完成人的“纳米粉体调控提高陶瓷材料及其涂层的性能研究”项目获得黑龙江省科学技术奖二等奖。

2011年，王铀教授作为第一完成人的“纳米结构热喷涂强韧耐磨抗蚀陶瓷涂层”项目获得黑龙江省冶金行业科技进步奖一等奖。

2013年，王铀教授作为第一完成人的“基于摩擦金属学研究的纳米改性耐磨新材料与应用”项目获得黑龙江省高校科学技术奖一等奖和黑龙江省科学技术奖二等奖。

现有知识产权：

2009年该技术获得中国发明专利授权（专利权人为王铀教授）

2010年相关技术获得中国发明专利授权（专利权人为哈尔滨工业大学）

2012年相关技术获得中国发明专利授权（专利权人为王铀教授）

2. 产品主要用途和性能指标

热喷涂高性能纳米结构涂层粉体喂料主要用于要求耐磨损、抗腐蚀、耐高温、防辐射、特殊功能等特殊要求的表面强化和防护处理涂层，各种功能涂层的制备和易损零部件的再制造等，其主要工艺目的是形成耐磨、耐蚀、隔热、隐身、减震、降阻、抗氧化、绝缘、导电、

防辐射等具有各种特殊功能的涂层，可广泛应用于航空、航天、船舶、武器装备、电力、冶金、纺织、机械、生物工程等各个领域。这些涂层不仅可通过热喷涂技术来实现，还可通过喷焊或激光表面技术来实现。此外，这种纳米结构陶瓷粉体材料今后还可以作为 3D 打印陶瓷零部件的耗材。

本项目粉体喂料产品所达到的主要技术性能指标如下：

表3 本项目产品所达到的主要技术性能指标

粉末形貌	实心球形纳米团聚体
粉末内部结构	三维网状结构
粉末体积平均粒径	50 μ m
粉末流动性	$\geq 69.6\text{g}/\text{min}$
粉末振实密度	$\geq 1.85\text{g}/\text{cm}^3$
粉末松装密度	$\geq 1.60\text{g}/\text{cm}^3$

通过对热喷涂粉体喂料及所得涂层性能的分析 and 对比试验，可得出下述结论：

本项目产品纳米改性强韧化、高致密型纳米结构陶瓷喷涂材料的振实密度高、流动性好、具有非晶/纳米晶三维网络状显微组织结构特征，其各项性能指标达到了美国海军应用同类喂料水平。

本项目产品初步解决了限制陶瓷材料应用的韧性低和抗热震能力差的两大问题。涂层韧性、耐磨性、热震抗力等均比目前国内外商用陶瓷材料中质量好、销量大的美科 130 涂层性能明显提高。如与传统的陶瓷涂层相比，用纳米结构陶瓷喷涂材料制备出的纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层比目前广泛使用的同类商用涂层(美科 130 涂层)有着高出 1 倍的韧性，高出 4-8 倍的耐磨性，高出 1-2 倍的结合强度和抗热震性能和高出约 10 倍的疲劳性能。

项目成熟度

纳米结构热喷涂陶瓷涂层技术的发明人就是王铀教授，他在美国亲自参与了纳米结构热喷涂陶瓷涂层产品的研发、生产和现场考核的全过程。鉴于该技术被美国海军广泛应用，王铀在旅居北美十年多以

后选择回国，以便自己能为科教兴国科技强军作出应有的贡献。2004年底，该技术的发明人王铀教授作为海外引进人才被哈尔滨工业大学聘为教授/博士生导师，于是他将这一先进技术带回国内并联合中国船舶重工集团第七〇五研究所、第十二研究所等单位进一步创新取得成功。所以，该技术是 100%成熟的可以产业化的新材料技术。

3. 后续研发计划

未来几年将主要进行纳米涂层材料的工业应用研究，包括纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层材料在耐磨抗蚀领域的应用研究，纳米结构锆酸盐涂层材料在高温服役环境中的应用研究，纳米结构陶瓷涂层材料在树脂基复合材料上的应用研究等。

四、行业及市场

1. 行业状况

我国热喷涂发展现状：

世界的热喷涂已有 100 多年的历史，中国的热喷涂也有五十多年的历史。特别是近二十年来，中国的热喷涂有了较大的进步和发展，下面就总体水平和地位、设备与材料、应用、科研与开发等方面作简单介绍。

据不完全统计，在“八五”期间（1991~1995 年包括 1996 年），中国热喷涂行业总产值为 3 亿元年左右（包括热喷涂设备、材料、施工与技术服务、辅助设备材料等）。1996 年，我国国民经济总产值约为 7.5 万亿元（约为 9100 亿美元），热喷涂产值约占其 0.39/10000。

根据上个世纪末协会统计，全国热喷涂从业人员 3000 人左右（不含施工队临时工），从事热喷涂行业的单位为 300~350 个，包括热喷涂设备、材料、辅机、辅助材料生产厂、热喷涂施工、技术服务单位，以及从事热喷涂的科研、教学、开发单位和贸易公司。最新的数据表明全国从事热喷涂行业的单位已超过 700 多个。而这样的单位如今在美国据称超过 25000 多个。

经过半个世纪的自主开发和引进、借鉴国外先进技术，目前，中国已能开发和生产真空等离子、大气等离子、爆炸喷涂、冷喷涂、等

离子堆焊、电弧喷涂、火焰粉末喷涂、火焰线材喷涂设备，生产金属粉末、陶瓷、金属陶瓷粉末、丝材，尽管设备总体水平仍不高，材料仍存在这样或那样的质量问题，但是，中国相关企业在低中端热喷涂设备和材料方面能够基本满足国内热喷涂行业的需要。然而问题是，几乎没有高端产品市场。目前，约有近 20% 的设备和材料仍需进口。特别是高性能纳米陶瓷材料国内尚无厂家生产。

热喷涂产值在 GNP 的比值是该国热喷涂发达与否的重要标志。据国外有关材料介绍，美国和日本的热喷涂总产值分别占其国民经济总产值（GNP）的 3.6/10000 和 2.3/10000。而中国的这个比值仅为美国的 11%，日本的 17%。据中科院统计中国热喷涂市场份额仅为美国的 1/7，日本的 1/3，德国的 1/2。但中国热喷涂行业的年增长率却最高，高达 33%。

根据相对新的统计表明：目前，热喷涂产业全球总产值约 120 亿美元，其中美国为 50 亿美元，日本为 25 亿美元，德国为 15 亿美元，中国为 20 亿美元以上（130 亿人民币左右）。中国热喷涂在产值上还低于美国和日本，特别是占 GDP 的比重仍低于发达国家。这说明中国的热喷涂仍处于发展阶段，不仅远未达到成熟和饱和阶段，更主要的是产业化水平不高，热喷涂平均技术水平和“含金量”不高，尤其是高端涂层产业化缺失。也正说明我国热喷涂产业在中国的市场广大，机遇甚多，具有极大的发展空间和良好的发展前景。

政策与环境：

2006 年，经国务院同意，国家发展和改革委员会、国防科学技术委员会相继对外发布了《振兴装备制造业的决定》和《船舶工业中长期发展规划》，要求大力开展技术创新，提高自主研发能力，培育高技术、高附加值的制造装备、大型船舶等，努力提高生产效率，使我国成为世界装备制造业、世界造船强国。以上文件的颁布，为高性能精细纳米陶瓷喷涂材料项目研究成果的产业化实施创造了良好的外部环境，原项目主承担单位七〇五研究所是我国水中兵器总体研究设计单位，可为取得的研究成果在水中兵器行业的全面应用提供有益的支

撑，主管单位中国船舶重工集团公司已批文，计划在“十一五”水中兵器基础条件建设专项中由五所实施完成“高性能精细纳米涂层”子项目，为研究成果在大型舰船、潜艇中的重要零部件关键零部件的推广应用提供了积极的政策保证。

此外，在研究项目进行过程中，有关单位对所取得的成果表现出了浓厚的兴趣，如中国石油天然气集团公司石油管材研究所、耐驰泵业公司、东北某国家大型电厂、某大型钢厂、某航空发动机维修工厂等。为振兴东北老工业基地设立的建设五大知名装备基地(即电站成套装备基地、重型机械装备基地、快速重载铁路货车及铁路起重机基地、新型微型汽车及发动机基地、微型汽车零部件生产基地)将是纳米陶瓷涂层材料的重要应用领域。传统工业与纳米材料和纳米技术这样的高新技术相结合，必将闯出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的路子。依靠高新技术，东北老工业基地必将重振雄风。

随着国家多项战略项目的实施,对具有自主知识产权的国产材料提出了更新的具体要求,也为该项目产业化提供了良好的机遇。

船舶行业是我国的发展重点,按照国家船舶大型化、高速化、智能化的发展方向,及多型武器装备的立项,该成果将发挥技术、价格、资源等三方面的优势,以中国海军为切入口,同时大力开发在石化、电力、机械等国家关键行业的推广和应用,努力取得重大的应用效果和较好的经济效益。

2. 市场前景与预测

粉体(不包括热喷涂)的市场:

本产品的市场开发应以中国海军和总装备部为切入点并针对飞机发动机和航天航空、钢铁领域作进一步开发。本产品主要市场是高尖端领域,但不容忽视广阔的普通商业陶瓷市场,因此可将普通型陶瓷材料(非致密型)应用于该领域。主要销售渠道是供应国内各类做陶瓷涂层的热喷涂中心、应用热喷涂技术的大型冶金、机械、电力、煤矿、化工等企业,用来替代进口。另一大块市场是国外市场,该粉

体在美国已批量应用十几年，涂层的性能远好于美国 Metco(美科)、TAFa 等公司的陶瓷涂层，而我们的价格仅为其三分之二，因此，粉体出口的前景很好，市场的容量比国内大。

市场容量分析：

有关纳米技术领域的权威专家经过缜密的研究分析预测，纳米整体材料的应用可能在 2015 年后。但是从全世界纳米技术的发展和工业应用情况来看，在涂层材料、涂料和催化剂等方面已经取得突破，并已取得较大规模的应用市场分额。

表 4 未来 15-20 年纳米技术潜在的经济能力预测

(根据各工业部门预计)

行业	应用方向	潜在经济能力/亿美元
材料	材料、工艺	3400
电子工业	纳米电子	3000
药物	一半的产品	1800
化工制造业	催化剂	1000
航天航空	—	700
工具	汽车、生命周期成本	200
保健	健康器材	300
生存能力	农业、水、能源	450
合计/亿美元	10000	

据估计，我国 2005 年特种陶瓷的产值约为 200 亿元人民币（约 25 亿美元），这与欧洲的水平相当，但只有日本的 1 / 9、美国的 1 / 5，我国的市场占有率与日、美两国相比有很大的差距。为了满足国内的需要，我国每年还不得不从国外进口大量的特种陶瓷产品，其中陶瓷涂层及结构陶瓷进口额估算约 25 亿人民币以上。由此可见，我国特种陶瓷的市场发展空间大，而陶瓷涂层仍处于初始开发阶段。

表 5 各类陶瓷世界市场份额

时间 陶瓷种类	2000 年 (%)	2005 年 (%)
结构陶瓷	6.4	6.6
电子陶瓷	64.7	64.8
陶瓷涂层	10.2	10.4
化学反应及环境相关陶瓷	18.7	18.2

据 10 年前的估算，国内商用热喷涂粉体市场总量为 30 亿元左右，且以每年 15% 左右的速度递增。据有关专家估计，未来五年高性能精细陶瓷粉体材料需求量巨大，其年需求分布情况如表 6。

表 6 国内未来 5 年高性能精细陶瓷粉体材料需求分布情况

行业	年需求量/吨
水中兵器（含鱼雷、水雷、发射装置）	6
航空	10
船舶（含舰艇、潜艇）	25
电力	20
石化	17
冶金	13
机械	14
煤炭	9
医疗电子	6
其他	5
合计	125 吨（其中致密型纳米涂层 35 吨，普通型纳米涂层 90 吨）

BCC 公司 2004 年的市场研究报告指出：由于亚洲的商用和军用航行器的需求，热喷涂涂层将以年平均增长率 (AAGR) 8.5% 增长。到 2009 年北美高性能陶瓷涂层技术市场份额将占总市场份额 16 亿美元中，热喷涂涂层约占 11 亿美元。根据 BCC 公司一项新的技术市场研究报告，北美高性能陶瓷涂层市场至 2012 年高达 19 亿美元，其中热喷涂约占 65% 以上的市场份额。

美国英佛曼高科技公司生产的同类纳米粉体在美国已批量应用四年多，仅美国海军的年应用量就约为 100~120 吨，数量相当可观。

3. 项目产品在国内外市场中的竞争优势

国内市场竞争分析：

客观地看，我国国防工业还没有彻底改变技术落后、装备陈旧、产品老化的局面。目前，我国用于热喷涂的陶瓷粉体喂料生产厂家很少，相对好的有北京矿冶研究总院，生产产品多为金属粉体喂料和喷涂丝材，国内热喷涂市场占有率最高，估计至少占 50%，但该单位也仅能生产少数几种传统陶瓷粉体喂料，根本无法与本项目的纳米陶瓷

粉体喂料竞争。另外，江西赣州章源钨业买了美国纳米集团英佛曼公司的一项专利技术，可生产纳米碳化钨基的 3-4 种金属陶瓷粉体喂料，占有部分国内热喷涂材料市场，不过他们的产品不是本案的纳米氧化物陶瓷粉体，与本项目粉体基本用途也有所不同，且其产品性能尚不过关，他们希望通过本技术持有人王铀教授帮他们提升产品性能，所以，他们的产品与本案产品的竞争不是很大。目前国内仅有武汉大地公司可以生产用于航空发动机热障涂层的纳米氧化锆陶瓷粉体喂料，占有国内极少的热喷涂市场份额，这是国内唯一可以与本案形成竞争的一种产品，不过也只是这一种产品而已。而本案产品有多个系列，仅热障涂层材料方面就有几种新品，其中有军方感兴趣的纳米锆酸盐系列纳米陶瓷粉体材料。除非客户需求，否则不必生产纳米氧化锆陶瓷粉体喂料。

为适应国家战略及现代化建设的需求，发展高技术材料和装备已是刻不容缓。而我们项目产品技术所达到的程度，在国内属于领先水平，特别在高端产品市场，暂时还没有同等水平的竞争对手。随着国家多项战略项目的实施，对具有自主知识产权的国产材料提出了新的具体要求，也为该项目产业化提供了良好的机遇。

2006 年，经国务院同意，国家发展和改革委员会、国防科学技术委员会相继对外发布了《振兴装备制造业的决定》和《船舶工业中长期发展规划》，要求大力开展技术创新，提高自主研发能力，培育高技术、高附加值的制造装备、大型船舶等，努力提高生产效率，使我国成为世界装备制造业、世界造船强国。以上文件的颁布，为高性能精细纳米陶瓷喷涂材料项目研究成果的产业化实施创造了良好的外部环境。

国家“十二五”规划中也明确提出要加快发展新材料产业，加大扶持新材料领域生产企业的力度，优化产业结构，改善品种质量，增强产业配套能力，淘汰落后产能，为本项目的顺利进行做出有力的政策指导。

国家“十二五”科学和技术发展规划要求：围绕经济社会发展重

大需求，努力攻克和掌握核心关键技术，推动高新技术产业化，加快培育发展战略性新兴产业，支撑重点产业振兴和传统产业升级。

国家“十二五”科学和技术发展规划还要求：坚持把增强科技长远发展能力作为战略重点。瞄准世界科技发展前沿，前瞻部署基础研究和前沿技术研究，鼓励自由探索，持续增加科技积累，进一步提升原始创新能力。着力解决关系国家未来发展的重大科学问题和关键技术问题，推进重大科学技术突破，增强共性、核心技术突破能力。

前期项目合作单位七〇五研究所是我国水中兵器总体研究设计单位，可为取得的研究成果在水中兵器行业的全面应用提供有益的支撑；主管单位中国船舶重工集团公司批准的“十一五”水中兵器基础条件建设专项中由七〇五所实施完成“高性能精细纳米涂层”子项目，为研究成果在大型舰船、潜艇中的重要零部件关键零、部件的推广应用提供了积极的政策保证。

此外，在研究项目进行过程中，有关单位对所取得的成果表现出了浓厚的兴趣，如中国石油天然气集团公司石油管材研究所、中船重工大连柴油机有限公司、中国人民解放军 5719 工厂、耐驰泵业公司、东北某国家大型电厂等。

船舶行业是我国“十二五”的发展重点，按照国家船舶大型化、高速化、智能化的发展方向，及多型武器装备的立项，该成果将充分发挥技术、价格、资源等三方面的优势，以中国海军为切入口，同时大力开发在石化、电力、机械等国家关键行业的推广和应用，努力取得重大的应用效果和较好的经济效益。

国外市场竞争分析：

以欧美为代表的西方国家一直注重表面工程的技术研发和应用，热喷涂技术已应用到国民经济的许多领域，市场容量很大。目前世界上只有美国纳米材料集团英佛曼高科技公司生产的同类纳米粉体实现了工程化应用，在美国已批量应用十几年，仅美国海军的年应用量就约为 100~120 吨，数量相当可观。而我们的价格仅为其 2/3，粉体出口的前景好，市场的容量大。

市场应用前景：

2000年，美国海军宣布一种革命性的新涂层——纳米结构的热喷涂陶瓷涂层已通过多方各种检验和试用，获得了美国海军的应用证书，并被广泛应用于军舰、潜艇、扫雷艇和航空母舰设备上的近百种零部件（包括潜艇上的进气和排气阀件，潜艇舱门支杆，航空母舰用电动机和油泵的轴，扫雷艇上的主推进杆，气体透平机的螺旋泵转子和燃料泵部件等）。这是纳米结构的热喷涂涂层首次获得实际应用。

这就是王铀发明的一种氧化铝/氧化钛陶瓷涂层，与传统的涂层相比，这种纳米陶瓷涂层具有十分优异的强韧性能、耐磨抗蚀性能、抗热震性能及良好的可加工性能。大量实验室和工业现场试验数据表明：所开发出的纳米结构氧化铝/氧化钛陶瓷涂层比目前广泛使用的同类商用涂层（美科 130 涂层）有着高出 1 倍的韧性，高出 4-8 倍的耐磨性，高出 1-2 倍的结合强度和抗热冲（热震）性能和高出约 10 倍的疲劳性能。2001 年，该技术获得了世界研究开发百项奖和美国国防部军民两用先进技术成就奖。

由于应用这种纳米结构陶瓷涂层技术可以明显提高舰船、航天器和陆地车辆所用零部件的寿命，可减少潜水艇、舰船和航行器的总成本，为军事工业和民用工业每年节约数百亿美元的维修和替代费用，所以，该纳米陶瓷涂层技术不仅被用于替代美国海军装备中近百种零部件上的传统涂层，还进一步扩展了其应用范围，截至 2003 年末，该纳米陶瓷涂层就已被用于数百种美国海军装备的零部件上。



图 2. 经过热喷涂的纳米结构氧化物陶瓷涂层的美国海军潜艇部件

现在，该技术的发明人王铀教授已将该技术带回国内并进一步创新。2006 年 11 月底，中国船舶重工集团公司规划发展部在西安主持

召开了项目验收暨技术鉴定会。以著名科学家张立同院士为主任委员的项目验收暨鉴定委员会认为该项目技术先进，取得了多项创新成果，成功解决了陶瓷涂层韧性低和抗热震能力差的两大难题，与处于世界领先水平的美国海军在用的热喷涂纳米结构陶瓷粉体材料相比，主要性能达到了同等水平。

2011年，王铀教授作为第一完成人的“纳米粉体调控提高陶瓷材料及其涂层的性能研究”项目获得黑龙江省科学技术奖二等奖。2011年，王铀教授作为第一完成人的“纳米结构热喷涂强韧耐磨抗蚀陶瓷涂层”项目获得黑龙江省冶金行业科技进步奖一等奖。2013年，王铀教授作为第一完成人的“基于摩擦金属学研究的纳米改性耐磨新材料与应用”项目获得黑龙江省高校科学技术奖一等奖和黑龙江省科学技术奖二等奖。

高性能纳米陶瓷热喷涂材料的研制成功，为提高我军舰船装备水平提供了技术支撑。该材料不仅可以大幅度提高新武器装备的耐海水腐蚀能力，而且可应用于海军新型武备关键零部件对耐磨损、耐高温燃气腐蚀、抗热震及防海洋寄生物等特殊环境，具有广泛的军事应用前景。由于这种纳米结构陶瓷涂层具有十分优异的耐磨抗蚀性能，在民用领域应该具有更加广泛的应用前景。

世界领先水平的高性能纳米结构热喷涂陶瓷涂层用途广泛，可以应用的零部件包括(但不局限于)：潜水艇和舰船零部件、汽车和火车零部件、航空器零部件、金属轧辊、印刷卷辊、造纸用干燥轧辊、纺织机器零件、液压活塞、水泵、抽油杆、泥浆泵、内燃机和汽轮机零部件，阀杆、阀门、球阀、活塞环、汽缸体、销子、传动轴、支承轴、曲轴、支撑板、挺杆、工具模具、轴瓦、重载后轴柄、凸轮、凸杆，密封件等各种需要耐磨防腐的零部件。这是成熟的高新技术，需要大力扶持进入产业化。

五、风险及对策

1. 市场壁垒和风险

竞争风险：由于纳米陶瓷喷涂材料在工程领域属于一种基本应用

材料，市场前景广阔，但市场准入门槛较低，在市场发育尚不健全的环境，市场竞争秩序也不尽人意的情况下，该项目材料有被仿制、假冒进而恶性竞争的可能。这种局面的出现，不但有可能降低本产品的市场占有率，还可能将研制单位拽入无休止的讼累之中。

替代风险：新材料作为带动工业发展的行业，越来越受到世界主流国家的重视，国内许多有眼光有资金的企业都正在或即将投入巨资进行高起点的研制，新的替代材料出现将是不可避免的，如果我们固步自封，不能号准市场的脉搏，紧跟科技的步伐，不断更新产品和技术，现有技术就会相对落后，将严重影响产品市场竞争能力和持续发展能力，进而被市场淘汰。

政策风险：该项目高端产品起初的主要用户为国家指令性计划项目承担单位，如果国际形势发生突然变化，国家指令性计划取消，势必影响项目的发展。

2. 应对策略

采取有效措施，注意知识产权的保护；紧跟科技的步伐，不断更新产品和技术；瞄准高端应用，以质量求发展。

六、项目投资方案及估算

1. 项目主要建设内容、项目建设方案、建设期限，市场原材料供应及外部配套条件情况

本项目主要建设内容是建设用于先进纳米热喷涂涂层的纳米结构氧化物陶瓷粉体喂料和纳米结构锆酸盐粉体喂料的生产线，以及相应的纳米热喷涂示范基地。

项目建设方案：根据目前国防工业发展规划和国民经济发展水平，本着立足现状、适当前瞻的理念，本项目预计投资总投资为 1.5 亿元人民币，分为 2 期投入。

融资注册新公司分两步走，第一期 8500 万。初步想法是希望知识产权占 45-49%，8500 万融投资占 51-55%。

通过 2-2.5 年建设可形成的生产能力：

建设期—

建设期间预计产值为 1000 万元，其中：

粉体年生产能力：纳米型为 5000 kg，高致密纳米型为 2150 kg，产值约 720 万元；

热喷涂年完成能力：可完成喷涂面积为 210 平方米，产值约 210 万元；

修复工程业务：100 万元/年。

达产期——

预计年产值为 3.5—4 亿元，其中：

粉体年生产能力：纳米型为 50000 kg，高致密纳米型为 30000 kg，产值 1.5 亿元；

热喷涂年完成能力：可完成喷涂面积为 1.5—2 万平方米，产值 1.5—2 亿元；

修复工程业务：5000 万元/年。

2. 项目投资估算

第 1 期投资计划总计需要 8500 万元人民币，其中：

——基本建设投资 4000 万元，包括购买土地 100 亩，建设现代化厂房 10000 平方米，其他配套房屋 2000 平方米，以及厂区绿化等；

——设备投资 2500 万元，包括 2000 万元进口设备，500 万元配套设备；

——完善试验费 500 万元，包括产品的定向试验，武器适性验证，以及其他大规模生产前的试验；

——流动资金 2000 万元。

权宜之计：在各方面条件还不完全具备时，可考虑先租用场地、厂房，并租用部分设备，以 3000 万元使项目边建设边运转，其中：

——场地租用费 400 万元（2 年）；

——必须添置的设备 1600 万元；

——流动资金 1000 万元。

能源需求：

水：月均消耗量约 1000 吨，年总耗量 12000 吨；

电：630KVA 容量变压器 1 台，年用电量约 600 万千瓦时；

天然气：月耗量约 3000 立方米，年消耗 36000 立方米；

热：冬季需要公网供暖。

企业规模：

注册资金：5000 万元；

员工人数：50（建设期）~300（达产期）；

效益预测：

项目达产后，以 3.5 亿元年产值为基准，扣除 1.4 亿元直接成本，2000 万元设备折旧费，6000 万元管理成本，6000 万元税金，约可实现（所得）税前利润 7000 万元。

市场原材料：

生产纳米结构陶瓷涂层热喷涂材料产品的所有原材料，国内货源充足，无需进口，且可货比三家，选择质优价廉的供货厂家；热喷涂项目所需原材料主要用于本公司生产两种粉体。

原材料成本分析：

（1）、纳米型粉体、高致密纳米型产品

原材料：原材料利用率 80%，年产量 80 吨，用量 96 吨 96×56 万元/吨=5377(万元)

燃料、水：10 万元

外购动力：210 万元

辅材：100 万元

合计：5697 万元

（2）、热喷涂加工、修复

主原材料：原材料 10 吨 $\times 200$ 万/吨=2000 万元；填料 4 吨 $\times 8$ 万/吨=32 万元；其它材料 168 万。合计 2200（万元）

燃料、水：20 万元

外购动力：260 万元

辅材：100 万元

合计：1385 万元

表7 原材料、动力辅材估算表 单位：万元

序号	项目	粉体	喷涂	合计
1	外购原材料	5377	2200	7577
2	外购燃料	10	20	30
3	外购动力	210	260	470
4	辅材	100	100	200
合计		8277		

七、经济和社会效益分析

1. 未来五年生产成本、销售收入、利润、现金流量的估算

表8为融资成功后未来3年高性能纳米陶瓷粉体材料销量预测。

表8 融资成功后未来3年高性能纳米陶瓷粉体材料销售量预测

行业	年需求量/吨
水中兵器(含鱼雷、水雷、发射装置)	2
航空	5
船舶(含舰艇、潜艇)	10
电力	2
水利	3
石化	2
冶金	10
机械	2
煤炭	2
医疗电子	
其他	2
合计	40吨

达产后如年产40吨高性能纳米陶瓷粉体材料，则年销售收入7500万元，每年税前利润可达3000万元。

随着国家建设的发展，对高端粉体的需求将越来越大。届时，企业生产就会全部开动，高性能纳米陶瓷粉体材料年产可达80吨。预计产值可达1.5亿元。

这里还不包括热喷涂维修、服务的部分。

2. 对投资项目财务指标评价，分析项目净现值、内部收益率、投资回收期、投资利润率等指标

2.1 总投资估算

总投资估算见下表：

表 9 投资项目总资金估算表

单位：万元

项目	名称	内容	投资额	
固定 资产	土建工程	生产车间	1000.00	
		辅助生产车间	200.00	
		办公楼、实验楼	100.00	
		采暖工程	400.00	
		福利楼	宿舍、食堂	100.00
		土地购置费		3878.00
		绿化		50.00
	土建工程合计		5728.00	
	设备购置及安装	进口、国产		4036.00
		安装调试费		404.00
实验用		设备、仪器、运费	500.00	
设备合计		4940		
其它	开办费支出	办公用设备	10.00	
	基本预备费	基本预备费	532.00	
	建设期利息		990.00	
流动资金		2800.00		
	总计	项目投入总资金	15000.00	

注：流动资金估算是按分项详细估算法进行估算，估算总额为 2800 万元。本方案是以银行贷款利率 6.6% 计算。投资分年使用计划按第 1 年 50%、第 2 年 50% 的比例分配。

2.2 工资福利费估算

序号	岗位	人数	年人均工资额	年人均福利费	年工资、福利费总额	
1	一线	粉体生产线	40	3	$3 \times 14\% = 0.42$	136.8
2	工人	热喷涂生产线	50	3	$3 \times 14\% = 0.42$	171
3	辅助工人		15	2.5	$2.5 \times 14\% = 0.35$	42.8
4	技术人员		6	5	$5 \times 14\% = 0.7$	34.2
5	管理人员		19	5	$5 \times 14\% = 0.7$	108.3
6	合计		130			493.1

项目自有资金 200 万元，其余以本项目技术做技术投资，吸收本地及外地投资者入股吸纳资金。

2.3 销售收入估算

(1) 粉体销售收入估算:

本项目粉体产品有两种: 纳米型粉体(50 吨, 产值 6000 万元)、高致密性粉体 30 吨、产值 9000 万元), 总计年销售收入为 15000 万元。

(2) 热喷涂加工、修复销售收入估算

按年加工、修复 10000m² 计算年销售收入为 10000 万元

销售收入总计: (1) + (2) =25000 万元

2.4 销售税金及附加估算

销售收入 25000 万元计算列表如下 (计算略):

表 1 1 销售税金及附加估算 单位: 万元

序号	项目			金额
1	产品营业税			1500
2	城市建设税			105
3	教育附加税			60
合计				1665
4	其它税费、费用	其它税费	38.7	480
		其它费用	441	

2.5 原材料估算

表 1 2 原材料、动力辅材估算表 单位: 万元

序号	项目	粉体	喷涂	合计
1	外购原材料	5377	2200	7577
2	外购燃料	10	20	30
3	外购动力	210	260	470
4	辅材	100	100	200
合计		8277		

2.6 固定资产折旧

固定资产原值为 10668 万元, 折旧年限 15 年, 年折旧额为 711.2 万元。

2.7 修理费计算:

按年折旧额 30%取: $711.2 \times 30\% = 213$ 万元

2.8 其它费用估算

其它费用：按工资福利费的 250%提取： $493.1 \times 250\% = 1232.8$ 万元

2.9 利息计算

第 1 年贷款利息：495 万元/年；第 2 年以后 990 万元/年。

2.10 总成本估算

总成本费用估算见下表

表 1 3 总成本费用估算表

单位：万元

序号	项目	建设期	投产期	达产期
		第 1 年	第二年	第 3 年
	生产负荷 (%)		50	100
1	生产成本 (原材料、动力、燃料、辅材)	1750	4385	8770
2	工资及福利	114	247	493.1
3	修理费	8.5	213	213
4	折旧费	14	711.2	711.2
5	利息支出	495	990	990
6	其它费用	12.5	617.5	1232.8
7	总成本费用 (1+2+3+4+5+6)	2889	6263.7	11177.3
8	可变成本 (1)			8770
9	固定成本 (5+6+7+8+9)			3640
10	生产成本 (1+2+3+4+5)			9263.1

2.11 利润总额及分配

利润总额及分配见下表：

表 1 4 损益表

单位：万元

序号	项目	建设期	投产期	达产期	
		第 1 年	第二年	第三年	第四年
0	生产负荷 (%)		50%	100	
1	产品销售收入	5000	12500	25000	25000
2	销售税金及附加	330	833	1665	1665
3	总成本费用	2394	6263.7	11177.3	11177.3
4	利润总额 (1-2-3)	2276	5403.3	12157.7	12157.7
5	所得税 (25%)	569	1351.0	3039.4	3039.4
6	税后利润 (4-5)	1707	4052.5	9118.3	9118.3
7	公益金 (6) × 10%	170.7	405.3	911.8	911.8
8	公积金 (6) × 10%	170.7	405.3	911.8	911.8
9	可分配利润 (6) - (7) - (8)	1365.6	3242	7294.6	7294.6
10	累计可分配利润	1365.6	4607.6	11902.2	19196.8

2.12 财务盈利能力分析

项目总投资=15000 万元

(1) 投资利润率=净利润总额÷总投资×100%=912157.7118.3÷15000×100%≈61%

(2) 投资利税率=年利税总额÷总投资×100%=12157.7÷15000×100%≈81%

2.13 偿还能力分析

本项目建设期第一年，要完成销售收入 5000 万元；第二年进入投产期，销售收入 12500 万元，第三年以后各年收入首先以偿还借款本金为首要目标。借款还本付息见下表：

表 1 5 借款还本付息计算表

单位：万元

序号	项目	建设期	投产期	达产期		
		第 1 年	第 2 年	第 3 年	第 4 年	第 5 年
1	借款					
1.1	年初借款本金本息累计		7500	15000		
1.1.1	本金		7500	15000		
1.1.2	建设期利息					
1.2	本年借款	7500	7500			
1.3	本年应计利息	495	990	990		
1.4	本年偿还本金			7500	7500	
1.5	本年支付利息	495	990	990	990	
2	偿还借款的本金的来源					
2.1	利润	1365.6	3242	7294.6	7294.6	7294.6
2.2	折旧费	14	711.2	711.2	711.2	711.2
2.3	摊销费					
2.4	偿还借款的本金的来源合计	1379.6	3847.8	3363.6	2879.4	10885.2

偿还借款和借款本金总计 18465 万元（投资回收期为 3.5 年）。

2.14 盈亏平衡分析

盈亏平衡点计算

$BEP(\text{生产能力利用率}) = [\text{年总固定成本} \div (\text{年销售收入} - \text{年总可变成本} - \text{年销售税金附加})] \times 100\% = 3640 \div (25000 - 8770 - 1665) \times 100\% \approx 24\%$

$BEP(\text{销售收入}) = 25000 \times 24\% = 6000(\text{万元})$

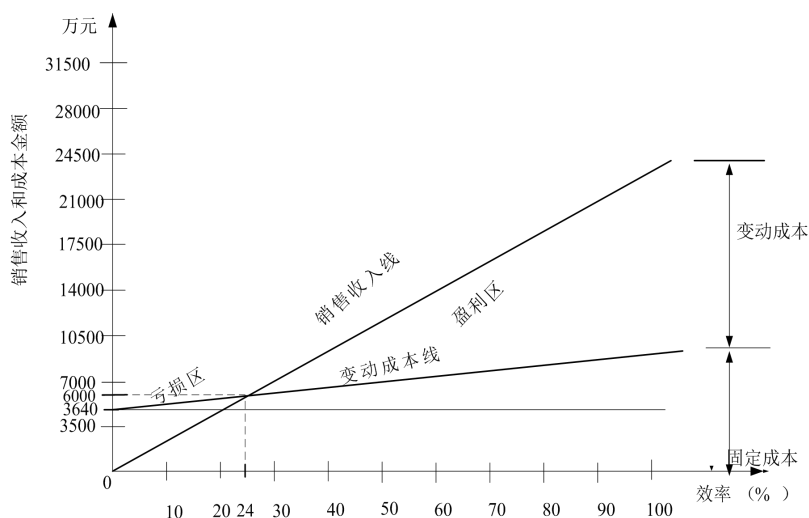


图 3. 盈亏平衡分析图

从以上计算和盈亏平衡分析图可以看出：在生产负荷达到设计能力的 24%、销售收入为 6000（万元）时即可实现盈亏平衡，说明项目对市场的适应能力很强。

3. 财务分析结论

随着国家大力发展重型装备业，注重国防现代化，为本项目创造了极其广阔的发展空间，粉体市场的需求远不止本文设计的产量（美国仅海军使用量就超过 100 吨/年）。所以本项目具有很强的生命力。

4. 社会效益分析

在国防领域：该技术已经为美国海军创造了巨大的经济和社会效益。到2002年，美国海军已经将此项技术应用于诸多领域，包括进气管和潜水艇的排气阀，预期在十年内由于应用此技术每只船可以节省 40 万美元，总共将可节省 2000 万美元。此技术还用在了美国航空母舰

的电动车和油泵轴上，并应用在水雷侦察舰的主推进轴上，从而每只船每年可节约100万美元。美国防部估计在通气管阀门上应用此涂层在10年内将减少2000万美元的维修费用。美国马里兰州海军水面作战中心正将此纳米涂层技术应用于其它五个主要的舰船部件上，估计每年将会节约1000万美元的年度维修费用。另外，陶瓷在喷涂后通常要进行磨削和抛光，其费用占据了涂层费用的40%。而纳米涂层较常规涂层在后续处理中所花费用减少一半。

在民用领域：节能、节材、环保、高效、长寿是对机械零部件提出的基本要求。据统计，世界上1/3的一次能源消耗于摩擦磨损，80%的机械零部件因磨损而失效。中国工程院相关统计表明我国因为磨损和腐蚀造成的损失约占GDP的9.5%。其主要原因之一就是许多传统工业技术落后、装备陈旧、产品老化，不能满足对机械零部件提出的节能、降耗、环保、高效、长寿的基本要求。而利用纳米热喷涂涂层技术解决磨损及腐蚀问题是非常有效的方法之一。据估算，中国主要支柱产业部门每年如通过表面技术改善摩擦学性能，降低磨损可能带来的经济效益约占国民经济总产值的2%以上。因此，纳米热喷涂技术必将大有作为。

通过该纳米粉体制备技术可在纳米尺度上改变材料的成分和结构，以获得不同性能的纳米热喷涂涂层，赋予零部件耐高温、防腐蚀、耐磨损、抗疲劳、防辐射等性能。所以，这一世界领先水平的高性能纳米结构热喷涂陶瓷涂层用途非常广泛。此外，该技术得到的纳米结构粉体材料不仅适用于等离子喷涂，还适用于堆焊、激光或电子束熔覆和等离子熔喷等工艺。今后还会用于3D打印纳米陶瓷领域。也就是说，该技术有着相当看好的市场转化前景。

八、项目落地转化方式和资金筹措方案

请详细说明按何种方式转化：自建公司、一次性转让（资金额度）、股权转让（所需资金及相应股权数）或其他方式，以及有关资金筹措想法和方案等。

融资注册新公司，建成纳米结构陶瓷粉体喂料生产线和纳米热喷

涂示范基地。

融资注册新公司分两步走，第一期 8500 万。初步想法是希望知识产权占 45-49%，8500 万融投资占 51-55%。

九、项目落地转化亟需解决的关键问题

1. 项目产品目前的中试、产品技术升级换代、产品生产工艺等情况和目前面临的问题

纳米结构氧化铝氧化钛陶瓷粉体喂料是 100%成熟的技术，需要生产出足够量的产品才能应用于军用和民用市场，供中国市场检验和应用。

纳米结构锆酸盐粉体喂料也需要相应的规模化生产，然后在发动机上进行中试，进而才能占领高端市场。

目前，落地转化亟需解决的首要问题是产业化资金投入问题。当然也涉及随后的土地、厂房和税收优惠等方面的政府支持。

十、省内落地产业化基础

1. 与省内企业开展合作情况、用户省内分布情况及相关有利于在我省产业化的条件

纳米结构热喷涂陶瓷材料及涂层在大量的需要耐高温、防腐蚀、耐磨损、抗疲劳性能的零部件上有着广阔的应用前景。

哈尔滨新科发电设备有限公司与我们合作开展了纳米结构陶瓷涂层技术在水轮机过流部件方面的应用研究。结果表明：在 22 种试验材料中，我们提供的纳米结构陶瓷涂层材料样品显示出了极大的耐磨耐蚀性能。该公司计划不久后对一些重点水轮机过流部件进行现场应用考核，如果纳米结构陶瓷涂层样件能如预期那样再次显示出优异性能，该公司将大量采用纳米结构陶瓷涂层材料生产水轮机过流部件，以提高其耐磨耐蚀性能。

哈尔滨新世科技有限责任公司研制开发的铁路测量车的走形轮系统既需要有良好的绝缘性能又需要优异的耐磨性能。曾采用其它涂层结果不好，而采用喷涂纳米陶瓷涂层后工作完好，涂层不但没有任何脱落，也看不出明显的磨损破坏。

该纳米结构涂层还在哈工大研发的登月月球车零部件上、中国船舶重工集团 712 所承担的军用直线电机零部件上、和兵科院承担的军方火炮炮管内壁中获得成功应用。

此外，王铀与哈电集团合作，开展纳米结构陶瓷粉体的造粒调控与工业应用研究，目的是采用先进有效的纳米表面工程技术解决机械零部件的磨损腐蚀问题，如通过在煤粉调节阀核心零件上进行应用研究，有望打破国内煤粉调节阀市场完全被国外产品所垄断的局面。王铀还与与哈飞集团磨具制造公司合作，成功地将纳米改性技术用于汽车模具钢，受到客户好评。哈尔滨福润德科技投资发展有限公司亦对本项目产生了浓厚的兴趣，表示非常愿意与项目组进行合作。

2. 带动我省相关产业发展、促进产业升级等情况

这里仅举几个例子说明该技术对我省我市工厂企业的推动作用：

其一：替代电镀硬铬

传统的电镀硬铬技术所得镀层硬度高、耐磨、耐蚀，并能长期保持表面光亮。然而，电镀铬工艺导致严重的环境问题。

电镀污染问题一直困扰着许多省市，如据不完全统计，哈市有电镀企业 200 余家，其中有 160 余家是备案可查的，年产值近 20 亿元，其中年产值 500 万元以上的企业仅 30 多家，其余都是中小企业。哈市电镀行业约有从业人员 5000 余人，年用水量 220 万吨，有环保处理设施的企业不到 80 家。2005 年 7 月，国内几家媒体曾以：《“小电镀”肆虐冰城》为题对哈市电镀企业污染情况进行了集中报道。其中，《中国环境报》在报道中指出：哈尔滨市环保部门调查证实，全市目前约有上百家甚至几百家作坊式的非法“小电镀”企业存在滥排污水、废弃物的严重问题。保守估计，每天有至少 1000 吨电镀废水不经任何处理直接排入地下。

目前，各国对镀铬工艺的限制已越来越严。比如，美国已将六价铬的空气排放标准从 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 降低到 $0.0050=0.0005\text{mg}/\text{m}^3$ 。其实，电镀硬铬镀层的硬度和耐磨性远不及一些陶瓷好，其工作温度也只能低于 427°C ，难适应现代机械高温、高速下的工作要求。再者，镀铬层

内易产生穿透性裂纹，可导致基体腐蚀，甚至镀层剥落。

已有一些涂层技术被证明比电镀硬铬更清洁、更有效，诸如物理气相沉积、化学气相沉积、激光涂层技术和热喷涂技术等。其中广泛应用的热喷涂技术具有成本低廉、工艺简单、适于规模化应用的优势、最被看好作为电镀硬铬的替代技术。

如：航空发动机零件的工作条件较为恶劣(高温、高转速、振动、高负荷)，又受到粘着磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损和疲劳磨损等几种类型的磨损，发动机性能和使用寿命受到影响。若在钛合金压气机叶片的阻尼台表面上喷涂一层 0.25mm 厚的碳化钨涂层，叶片寿命可由 100 小时延长到上万小时。1999 年 6 月起，由美国国防部、加拿大国防部、加拿大工业部等共同启动开展了“确认 HVOF 喷涂 WC/Co 和 WC/CoCr 替代飞机起落架上的镀硬铬层”的联合攻关项目。经过美国和加拿大两国的联合攻关，如今波音 767 和 777 机的起落架现在已使用 HVOF 喷涂 WC-CoCr 涂层替代原用的硬铬镀层，随后欧洲空中客车也采用了 HVOF 喷涂层替代原用的硬铬镀层。

再如：起重机和挖掘机液压支杆现用电镀铬层，电镀导致严重的环境问题，电镀行业是当今全球三大污染行业之一。而且，电镀铬镀层的硬度和耐磨性远不及一些陶瓷或金属陶瓷好，其工作温度也只能低于 427℃，难适应现代机械高温、高速下的工作要求。再者，镀铬层内易产生穿透性裂纹，可导致基体腐蚀，甚至镀层剥落。而广泛应用的热喷涂技术具有成本低廉、工艺简单、适于规模化应用的优势、作为电镀硬铬的替代技术正在取代电镀层。

如果三一重工、厦工、徐工、柳工等企业生产的起重机和挖掘机液压支杆都用纳米陶瓷涂层，估计每一个支杆需要喷涂材料 3 公斤，可以想象纳米涂层材料会有多大空间。

另外，煤矿井下每隔不到 2 米就有 1 个液压支撑杆，也是如此。

其二：飞机发动机用涂层

据报道：仅美国航空飞机中需要采用热喷涂技术的零件就达 7000 多件，含发动机叶片、发动机机壳、飞机尾翼喷管、飞机起落架等。

如果仅考虑发动机叶片 1 项，1 台发动机叶片所需喷涂材料可能就将近 100 公斤。纳米喷涂材料比现有的涂层材料更耐磨抗蚀耐高温，热障性能更优越，用纳米材料取代现有材料是发展趋势。有资料表明，一级涡轮叶片表面涂上（普通）陶瓷热障涂层后，可使冷却空气流量减少 50%，比油耗减少 1%-2%，叶片寿命提高 4 倍，仅减少油耗一项，对于一家大型的民航公司来说，每年可节省燃油开支 1000 万元以上。

其三：汽车零部件用涂层

每辆汽车有几十个零部件需要采用耐磨耐蚀的喷涂层，如曲轴、顶杆、阀杆、阀座、齿轮箱齿轮轴颈、活塞、柱塞等。如果平均 1 根曲轴需用 1 公斤喷涂材料，可以估算喷涂材料的用量。

其四：阀门用涂层

如哈电集团提供的资料表明：在冶金工业中，煤粉调节阀使用工况恶劣，对核心零件（阀瓣，左、右阀座等）性能要求极其严格，所以国内煤粉调节阀市场完全被国外产品所垄断。通常，一家炼钢企业至少需要 15 只煤粉调节阀。进口产品每只售价约为 10 万美元，一套核心零件（阀瓣，左、右阀座等）备件价格也高达 30 万元。而一套核心零件的使用寿命仅为 1 年左右，也就是说，一年左右时间就需要更换一套新的核心零件。为减少成本，国内有厂家对磨损的核心零件进行修复，但修复一套核心零件的价格也高达 15 万元。而采用纳米结构陶瓷喷涂零件费用预计不超过 10 万元，整只阀门价格预计 20 万元以下。如果按 100 家炼钢企业估算，购置煤粉调节阀花费约达 9 亿元人民币，而能采用纳米结构陶瓷喷涂零件后替代进口，可节省 6 亿元人民币，经济和社会效益都非常可观。

而通过纳米结构陶瓷粉体的造粒技术，创制新型高性能结构陶瓷涂层、并通过在煤粉调节阀核心零件上进行应用研究，有望打破国内煤粉调节阀市场完全被国外产品所垄断的局面。

其五：连铸结晶器应用

我国钢产量将近 7 亿吨，95%以上是连铸生产的，据统计，每生产

20 万吨钢板就要更换一个连铸结晶器。其中仅生产钢板一项至少应占有 60%的比率，即 4 亿吨以上，以此计算，每年生产钢板需更换连铸结晶器 2000 个。目前，国内连铸结晶器大多采用电镀硬铬层或合金镀层，也有一些是热喷涂合金层，而国外经过研究后已开始采用热喷涂普通陶瓷涂层。纳米陶瓷涂层无疑具有更大的应用优势。我省就有一个连铸结晶器生产厂家。估计一个连铸结晶器喷涂涂层将使用大约 5Kg 纳米陶瓷粉体，那么，仅这 2000 个连铸结晶器就会使用 10 吨多纳米陶瓷粉体。

总之，发展这样的国际领先的先进表面工程新材料技术，对推动我省的科技和产业发展无疑有重大的战略和经济意义。可以促进我省传统产业的结构调整和产品的升级换代，可以提高我省产品的市场竞争力和我省企业的活力和经济效益。

3. 项目组开办公司情况

十一、特殊需求

产业化场地空间高度、电力、通风、楼层、保密认证要求等。

约需举架 6 米高的水电气齐全的 1500-2000m² 标准产房。生产的纳米结构可喷涂喂料和高性能纳米陶瓷涂层的主要用途之一是军方，届时需要相关的生产许可和保密认证。