

# 中国发明创新奖提名书

(2021) 年度

## 一、项目基本情况

提名者	安徽工业大学		
项目名称	短流程非高炉炼铁关键技术及应用		
完成人 完成单位	1 徐其言 安徽工业大学		
	2 张颖异 安徽工业大学		
完成人 完成单位	3 郟俊懋 安徽工业大学		
	4 江群英 浙江攀盛冶金材料有限公司		
完成人 完成单位	5 程相魁 攀枝花学院		
	6 高建军 中国钢研科技集团有限公司		
填写说明：项目完成人（完成单位）不超过 6 人，由系统自动生成。			
学科	农林养殖	医药卫生	国土资源
	环境水利	轻工纺织	化工
	材料冶金 <input checked="" type="checkbox"/>	机械与动力	电子信息组
	填写说明：请在所属学科后面打√		
	<p>该项目研究短流程非高炉炼铁关键技术及应用，开发了流态化还原与熔融还原相结合的两步法短流程非高炉炼铁关键技术，并在此基础上发明了高抗热震性耐火材料，高效包覆防黏剂以及高耐压强度涂抹料。该项目研发的耐火材料、防黏剂及涂抹料具有性质稳定、性能优良以及性价比高特点，在推广使用过程中，也得到了应用企业的认可，带来了良好的经济效益和社会效益。项目开发了新的炼铁工艺并形成了多项关键自主研发技术，提高了非高炉炼铁过程的作业率以及相关冶金装备的使用寿命，促进了炼铁工艺的绿色发展，形成了居于国内领先、国际先进水平的流态化还原与熔融还原两步法短流程非高炉炼铁工艺。建议推荐为发明创新一等奖（金奖）。</p>		
填写说明：第三人称表述，本提名书均以第三人称表述，不超过 600 字。			

## 二、发明创新情况

### (一) 知识产权情况

	序号	专利名称	专利号	法律状况
专利情况	1	一种包覆防黏剂抑制铁矿粉黏结失流的流化反应装置及流化反应方法	ZL 201710499624.6	授权
	2	一种加压流态化还原铁矿粉时黏结失流的抑制方法	ZL 201710500088.7	授权
	3	镁橄榄石涂抹料	ZL 201410368257.2	授权
	4	一种外热式的煤基直接还原-熔分炉熔融还原炼铁工艺	ZL 201510614043.3	授权
	5	一种复合高温耐火材料及其制造方法	ZL 201410647375.7	授权
	6	用于还原金属化球团的熔分系统	ZL 201520123735.3	授权
	7	高磷鲕状赤铁矿气基直接还原-磨矿磁选的炼铁工艺	ZL 201510661519.9	授权
	8	直接利用粉矿熔融还原炼铁的方法	ZL 201410779305.7	授权
	9	钒钛磁铁矿加工设备以及加工工艺	ZL 201810155278.4	授权
	10	一种同时降低铁矿烧结 NO <sub>x</sub> 和 SO <sub>2</sub> 的原料制备及烧结方法	ZL 201710484628.7	授权

### (二) 项目简介

该项目在综合分析不同炼铁工艺的基础上，结合钢铁工业当前面临的减排降碳形势，针对现有炼铁工艺中存在的问题，适时地提出了流化床还原与熔融还原相结合的两步法短流程非高炉炼铁工艺，工艺具有焦炭零消耗、环境友好以及能源利用率高等特点，适合于煤炭资源丰富地区的新建企业。同时，依托于工艺的开发，该项目还发明了高抗热震性及高抗渣性耐火材料，高效包覆防黏剂以及高耐火性及高强度涂抹料。项目研发的耐火材料、防黏剂及涂抹料具有性质稳定、性能优良以及性价比高特点。在项目的研发过程中，逐步形成了铁矿粉流化床高效还原技术、高能量密度熔融还原技术以及流化床还原—熔融还原集成技术三项创新技术。通过流化床生产得到的含碳球团产品，其金属化率达到 70% 以上，且生产过程顺畅，无黏结失流现象；熔融还原炉采用喷吹氧气和煤粉的方式作为反应热源，能源利用率显著提高；将熔融还原炉反应产生的高温优质煤气作为流化床还原反应的能源介质，而流化床生产的高金属化率含碳球团则为熔融还原炉的优质炉料，这是流化床还原—熔融还原集成技术的主要技术特点，该技术的综合煤耗低于 900kg/t，耐火材料的抗热震性（TSR）≥10 次，涂抹料中的 MgO 含量≥75%，耐压强度≥20MPa（1500℃×3h），优于其他同类技术和产品。根据项目研究成果，现已申请并授权发明专利十余项，同时自 2016 年起，相关技术成果已陆续在相关企业推广使用，经济效益良好。该项目针对当前炼铁工业面临的节能降碳形势以及存在的问题，开发了具有自主知识产权的非高炉炼铁工艺并形成多项关键技术，形成了国内领先、国际先进的流化床还原与熔融还原两步法短流程非高炉炼铁工艺，经济和社会效益显著，具有重要的推广价值。

### (三) 主要发明创新

创新点 1：铁矿粉流化床高效还原技术，所述学科分类：冶金工程技术。发明专利：ZL 201710499624.6，ZL 201710500088.7，ZL 201510614043.3，ZL 201510661519.9，ZL

201810155278.4 等。关键技术包括：（1）加压抑制铁矿粉黏结失流技术。该项目所研发的抑制铁矿粉黏结失流的高效包覆防黏剂，主要是在铁矿粉的表面形成均匀的石墨或者粘附碳层，铁矿粉在包覆防黏剂的作用下发生流化还原反应。该项目所研发的高效包覆防黏剂可有效避免还原过程中铁矿粉中形成的铁晶须或铁原子之间的勾连和团聚，从而抑制铁矿粉发生黏结失流。（2）铁矿粉流化床还原过程可视化技术。该项目所设计的铁矿粉流化床还原过程可视化技术采取在蓝色背光成像法的基础上，搭建蓝色背光投影和自发辐射同步成像的双光路图像采集系统，并通过实验对测量系统的可靠性进行了验证，以实现与现场相同视场下料球还原过程的背光图像和自发光图像的同步采集。实验结果显示，图像采集系统运行稳定，图像信息清晰可见，通过对比分析可以更好地反映料球的还原过程。在现场的实际应用中，该系统也表现出了良好的稳定性。在本技术设计中，选择将观察窗口固定在不锈钢法兰盘上，同时为了保证观察窗口与法兰盘在焊接过程中因膨胀系数不一致而导致系统漏气，采用了特殊材料和特殊设计结构以保证系统的密封性。通过观察窗口即可对料球在流化床中的还原过程的状况和图像进行同步采集和综合分析。该项目设计的铁矿粉流化床还原过程可视化技术具有操作简单直观，通用性强的特点，可在降低料球还原过程故障分析工作量的同时提高分析过程及结果的实时性及实用性。（3）高效还原流化床关键技术装备。该项目设计的流化床的整个系统主要由 316L 材质的不锈钢加工而成，内部结构由外层和内层两层组成。为了方便酸洗，整个流化床装置的外层部分进行了化学镀铜。高温还原性气体的进气口设置于外层，流化反应床设于内层，可充分利用高温还原性气体的热量。流化床篦板是由石英玻璃烧结而成，中间可以通气。在实际生产过程中，流化床温度可保持在 1000°C 以上，为了确保流化床反应器上端温度不至过高，在流化床装置外层的中上部分焊接有由直径 8mm 铜圈绕制而成的冷却装置，在实际生产过程中通入冷却水进行循环冷却。为了方便进料，进料口设置为 O 型圈密封方式。高温煤气进入流化床反应器前，设置的数字型流量计将对进气速率进行实时测量。在流化床反应器系统中分别设置两套温度测量装置，一套安装在流化床装置的内层附近，另一套安装在流化床装置外层的外壁。流化床反应器系统还设有一套压力测量装置，用于测量流化床内部压力的变化。另外，系统还安装有安全阀等安全装置。此外，该项目设计的流化床反应器系统中的其他自主设计的关键部件和技术还包括固定石英板，易拆卸的高压密封接头，中央数字监控系统以及热电偶信号引出技术等。项目设计的流化床反应器系统的特点包括反应温度灵活可调，可在室温~1100°C 连续调节；流化床反应压力可调范围大，可在 0.1~1.5MPa 连续调节；反应系统的压力、温度及流量信号已实现实时精确采集并通过电脑显示和储存；流化床还原反应装置采用不锈钢材质，装备安全可靠，工艺运行稳定等。

创新点 2：高能量密度熔融还原技术，所述学科分类：冶金工程技术。发明专利：ZL 201510614043.3，ZL 201410647375.7，ZL 201520123735.3，ZL 201410779305.7，ZL 201410368257.2 等。关键技术包括：（1）高强度冶炼技术与装备。该项目设计的高能量密度冶炼熔融还原工艺采用高纯氧气喷吹煤粉的方式作为热源和还原反应介质，冶炼强度高，还原反应更加高效，渣铁分离效果明显改善，生产效率提升显著。通过前期大量的试验研究和理论分析，最终确定在控制冶炼温度在 1450~1500°C 范围，碱度为 1.3~1.5，C/O 为 1.0，喷煤粉量为 400~450kg/t 以及 O<sub>2</sub> 纯度 >92% 的条件下，即可保证冶炼炉渣具有较好的流动性，渣铁分离效果好，铁的收得率达到 95% 以上，脱硫率可达 80% 以上。（2）新型耐火材料及涂抹料开发。耐火材料的抗热震性（TSR）≥10 次，涂抹料中的 MgO 含量 ≥75%，耐压强度 ≥20MPa（1500°C×3h）。（3）技术生产预测模型建立。生产预测模型的建立是以物料平衡和能量平衡为基础，根据物料在高能量密度冶炼熔融还原炉内的不同物理化学反应，建立物料平衡和能量平衡模型，并进行联合计算。高能量密度冶炼熔融还原炉内主要进行铁矿石的终还原和渣铁分离，炉内产生的炉顶煤气温度预定为 1500°C，经流化床尾气冷兑到 1000°C 后全部通入流化床。本模型计算过程中考虑了不同金属化率炉料条件下炉料残碳量对高能量密度冶炼熔融还原炉热平衡的影响。

创新点 3：流态化还原—熔融还原集成技术，所述学科分类：冶金工程技术。发明专利：ZL 201710484628.7，ZL 201510614043.3，ZL 201410779305.7 等。创新性体现为：（1）铁矿粉高效还原熔分集成技术。该项目设计的铁矿粉高效还原熔分工艺是将上述流化床高效还原技术与高能量密度冶炼熔融还原技术进行合理集成后形成，主要由铁矿粉流化床预还原和预还原炉料高能量密度冶炼熔融还原两部分组成。铁矿粉、煤粉和熔剂先进行制粒形成生球，然后加入高效包覆防黏剂，进一步制粒，在生球表面形成均匀的石墨或者粘附碳层，最后输送至流化床，在流化床内与燃烧的热烟气逆流换热，原料被加热至 1000℃左右，铁氧化物被逐级还原为金属铁，还原后的金属化炉料热装进入高能量密度冶炼熔融还原炉。（2）协同高效烟气多污染物治理。该项目针对流化床还原熔融还原两步法短流程非高炉炼铁生产工艺所采取的多污染物协同治理工艺为活性炭法+变压吸附（PSA）脱除 CO<sub>2</sub> 技术。活性炭法对 SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、二噁英等污染物均有一定的脱除效果，其脱硫效率高达 90%~95%，同时无废水、废渣产生，有效防止二次污染，且再生处理后的活性炭可循环使用，脱硫副产物硫酸可用于生产商品酸。在实际运行过程中，排放烟气中 SO<sub>2</sub> 排放浓度 < 100mg/m<sup>3</sup>，NO<sub>x</sub> 排放浓度 < 200mg/m<sup>3</sup>，CO<sub>2</sub> < 0.1%，满足国家排放标准。（3）烟气余热资源高效循环利用。在综合分析流化床还原—熔融还原两步法短流程非高炉炼铁生产工艺的工艺流程、技术特点以及烟气特征的基础上，该项目决定对工艺的烟气余热资源采取循环使用+ORC 发电的模式进行高效回收和利用。该项目设计的烟气余热资源高效循环利用技术中，循环使用烟气与 ORC 发电烟气的占比分别为 20%与 80%，循环烟气的平均温度可达 400~500℃，经污染物协同治理和 ORC 发电后的外排烟气温度可降低至 100℃以下，烟气余热资源实现高效循环利用。