

附件 2

拟推荐 2017 年度国家技术发明奖项目公示材料

一、项目名称

基于页岩钒行业全过程污染防治的短流程清洁生产关键技术

二、推荐单位意见

该成果立足于我国优势钒资源高效利用与环境保护，针对十一五以来我国氧化型钒页岩锐减现状，开展对占资源量 90%以上的难提取原生型云母钒页岩的研究。对行业原有两步提取技术存在的效率低、有害气体污染严重、废水氨氮大幅超标、固废堆存环境风险大、防控体系建设滞后等重大问题，在国家科技支撑计划、环保公益性行业专项等支持下，系统建立钒页岩提取理论，形成一步法页岩钒清洁提取技术、源头消除废水氨氮梯级循环浸出法、钒尾渣地聚物技术、页岩钒行业污染防治政策体系等核心发明。与原有技术相比，解决了页岩钒生产源头污染、废水氨氮控制和循环利用，以及末端固废大宗消纳，实现了清洁生产技术与理论的重大突破，开展了大范围、大规模工业应用。

该项目研发的相关技术被国土资源部、工业和信息化部采纳列入全国“先进适用技术”和“产业关键共性技术”，被中国有色金属工业协会及多省、市政府部门重点推广，部分成果被《无机化学工业污染物排放标准》(GB31573-2015)及 5 项企业标准采纳应用，

还形成了《含钒页岩提钒行业污染控制政策》等三项环境保护技术文件建议稿，为全行业技术进步、环境保护、工程规范提供了有效支撑。

研究成果获授权国家发明专利 37 项，美国、南非专利 2 项；获 2016 年环境保护科学技术一等奖 1 项，其他省部级技术发明、科技进步一等奖 4 项，中国专利优秀奖 1 项；相关技术在陕西有色金属集团五洲矿业等 19 家大中企业应用，实施该技术近三年新增销售额 35.84 亿元，取得突出的经济、社会和环境效益。

推荐该项目为 2017 年度国家技术发明奖一等奖。

三、项目简介

我国是世界最大的钒生产国，也是行业污染最重的国家。世界钒技术委员会（Vanitec）2015 年公布，中国钒产量占全球的 67%，是世界最大的钒生产、供应和消费国。随着氧化型钒页岩的锐减，十一五以来我国页岩钒资源 90% 转入原生型云母钒页岩，其提取冶金异常困难。关键难题是：采用原有的两步提取技术效率低、有害气体污染长期不能解决，高酸、高氨浸出法引发废水氨氮严重超标，大量尾渣堆弃环境风险大。两步提取技术，全行业每年产生有害气体 180 亿立方米（ SO_2 、 NH_3 、 Cl_2 、 HCl ），废水 5000 万立方米（ COD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 Cr^{6+} ），废水氨氮 3.4 万吨，尾渣 750 万吨。氨氮排放量约占 2015 年全国工业排放总量的 15%，导致页岩钒行业面临严峻环境压力，成为我国污染重点防控对象，许多企业因此倒闭，严重影响我

国钒战略资源安全及世界钒的刚性需求。在国家科技支撑计划、国家环保公益专项等 20 余项重点项目持续支持下,历时 10 年从理论、方法、技术、装备到应用的系统研发,形成如下核心发明:

1、一步法页岩钒清洁提取技术。首次揭示原生型钒页岩高温焙烧下 O-Al-V-Si 化学结合规律及造成的“硅盖罩”现象,系统建立了强氧化状态下页岩钒提取理论体系;为解决焙烧低温玻璃相盖罩问题,首创低温沸腾氧化转价法和清洁提钒关键装备沸腾转价炉,实现一步短流程高效提钒和源头有害气体减排技术。消除占总量 20%的焙烧添加物,破解了两步工艺造成的有害气体源头污染和低价钒难以氧化转价等公认难题。转价率 $\geq 98.9\%$, 有害气体源头削减 91.5%。

2、源头消除废水氨氮梯级循环浸出法。基于酸性常压分解体系,发明了低能耗强化浸出技术,研制出抗水震、抗热震梯级浸出装备和缓释助浸剂,酸用量降低 32.47%;发明的含 Ca 介质替代氨水中和高酸浸出液法,从源头消除了氨氮产生,并可大幅度降低萃原液中 SO_4^{2-} , 氨氮排放削减 99.5%, 废水循环率达 98%, 实质性实现了行业废水氨氮污染源控制和循环利用。

3、钒尾渣低稳态非晶化三维重构地聚物技术。首次研发出低稳态非晶化技术,建立钒尾渣活化诱导网络成链机制,发明了控制 C-S-H 凝胶聚合反应和 $-\text{SiO}_4-\text{AlO}_4-$ 三维空间网络重构技术,解决了地聚物高致密化关键。研制的地聚物优于同类先进指标,尾渣综合利用率 $>96\%$, 实现了末端固废大宗消纳。

4、页岩钒行业污染防治政策体系。基于页岩钒行业发展与区域环境承载力动态响应关系，构建了非线性、多因子、大尺度特征的页岩钒行业先进工艺与污染防治技术评价体系，实现页岩钒行业污染防治理论与方法的原始创新。

成果授权国家发明专利37项，美国、南非专利2项，软件著作权1项、实用新型专利8项；发布国家标准1项，企业标准5项。2011年中国专利优秀奖1项，2016年环保科学技术一等奖1项，2014、2013年分别获湖北省技术发明一等奖、科技进步一等奖，2010、2013年两次获中国有色金属工业科技一等奖。项目研发的“含钒页岩双循环高效氧化提钒技术”于2013年被国土资源部列入全国“矿产资源节约与综合利用先进适用技术”，“含钒资源一步法生产高纯五氧化二钒关键技术”2015年被国家工信部列入《产业关键共性技术指南（2015年）》，并被中国有色金属工业协会，江西、陕西、湖北等多省环境保护厅和发展改革委采纳推广；部分成果被《无机化学工业污染物排放标准》（GB31573-2015）及5项企业标准采纳应用，还形成了《含钒页岩行业污染控制政策》等三项环境保护技术文件建议书，为全行业技术进步、环境保护、工程规范提供了有效支撑；在我国页岩钒相关领域首次出版《石煤提钒》、《石煤提钒先进工艺及污染防治评价理论与方法》等专著，在国内外发表论文162篇，其中SCI收录78篇；在国内外最大的页岩钒企业陕西有色金属集团五洲矿业等19家大中企业成功应用，建成年产2000-4000吨 V_2O_5 清洁生产工程。实施该技术，近三年共新增销售额35.84亿元，减排烟

气污染物117.02万吨，削减废水氨氮2.96万吨，消纳固废652.5万吨，节水1392万吨。实现了污染物减量化、废物资源化、管理一体化目标，取得了行业高效、清洁生产的重大突破。

四、客观评价

(1) 同行专家评价

1) 针对项目成果的核心研究“揭示了页岩钒高温焙烧下O-Al-V-Si化学结合规律及所造成的有害烟气污染”，以及由此创立的“页岩钒一步低温沸腾氧化转价法”，国际著名湿法冶金专家、巴西圣保罗大学Ricardo教授正面高度评价：“张提出的沸腾氧化转价法及O-Al-V-Si高温反应理论，是目前合理解释和解决页岩钒生产中有害气体源头污染，提高提钒效率的最佳方法和途径”。

2) 国际著名材料专家、英国谢菲尔德大学John L. Provis教授对项目成果评价认为：研究工作显示含钒页岩提钒尾渣主要含有石英、长石、硅酸盐等矿物，可以用来制备碱激发材料的……该课题组通过在石煤提钒尾渣中掺入飞灰和含硅酸钠矿物制备了性能优异的碱激发材料，该材料在900℃煅烧后仍能保持较高的机械强度。

3) 澳大利亚昆士兰大学可持续矿业中心的C. J. Moran教授引用项目成果指出：“该课题组采用模糊层次分析法来选择合适的评价指标用来评判几种不同石煤提钒工艺的清洁生产水平，这一方法较为有效并能很好地为工业生产的可持续能力提供评估。”

(2) 取得的主要知识产权

围绕四个核心发明点已获授权国家发明专利 37 项，美国、南非发明专利 2 项，软件著作权 1 项、实用新型专利 8 项。

(3) 科技查新报告

国家一级科技查新机构湖北省科技信息研究院查新检索中心：“经国内外查新，未见与委托课题查新要点相同的文献报道。”

(4) 科技成果鉴定证书

1) 中国有色金属工业协会组织的科技成果鉴定，经我国著名湿法冶金专家邱定蕃院士、钮因健教授等七位专家组成的鉴定委员会鉴定：“采用助浸剂强化硫酸浸钒新工艺，提高钒的浸出率 10%-18%；所采用的助浸剂用量小，无污染；在中和阶段氨水替代工艺系统，控制了氨氮污染，使吨产品成本下降 10%左右。整体技术达到国际领先水平。”

2) 湖北省科技厅组织的科技成果鉴定，鉴定委员会认为：“项目开发了高效清洁生产新工艺，利用烟气产生的废酸浸取废渣，提高了钒回收率，实现了清洁生产；对生产过程中的废气、废水、尾渣及工艺中各项余热进行了综合回收利用，总体技术达到了国际先进水平。”

3) 四川省科技厅组织的科技成果鉴定，经我国著名机械工程专家秦裕琨院士、岳光溪院士等 7 位专家组成的鉴定委员会鉴定：“新开发的焚烧炉采用异形布风、组合式风帽布置结构、下行降尘烟道等优化设计，降低了污染物的生成量，总体达到了国际先进水平”

平。”

4) 陕西省科技厅组织的科技成果鉴定，鉴定委员会鉴定：“开发了过饱和-转溶-沉淀转型制备 99.5%高纯 V_2O_5 新工艺，延伸了钒产业链，具有显著的经济效益和社会效益，达到了国际先进水平。”

(5) 各项检测报告

经国土资源部矿产资源监督检测中心、广东省质量监督有色金属产品监测站、湖北省建筑工程质量监督检验测试中心、陕西省商洛市环境监测站等机构多年跟踪检测，工艺环保指标稳定，达到国家相关标准。

(6) 获得的重要科技奖励

2011 年获中国专利优秀奖 1 项，2010、2013 年获中国有色金属工业科技一等奖各 1 项，2013 年获湖北省科技进步一等奖 1 项，2014 年获湖北省技术发明一等 1 项，2016 年获环境保护科学技术一等奖 1 项。

(7) 相关政府部门的应用评价

1) 国土资源部：2013 年“含钒页岩双循环高效氧化提钒技术”被列入全国“矿产资源节约与综合利用先进适用技术”。

2) 工业和信息化部：2015 年“含钒资源一步法生产高纯五氧化二钒关键技术”被工业和信息化部列入《产业关键共性技术发展指南（2015 年）》。

3) 江西省环境保护厅：江西省兴旺矿业有限公司应用武汉大学等开发的页岩钒清洁提钒技术进行工程建设获江西省环境

保护厅批复“同意江西省兴旺矿业有限公司按报告书中所列工程性质、规模、地点、环境保护对策措施等要求进行建设”。

4) 陕西省环境保护厅：陕西五洲矿业有限公司应用该项目成果技术，在陕西省环保专项行动报告中获得肯定，“陕西五洲矿业有限公司建成了中和阶段氨水替代工艺系统，减少了70%以上的氨用量，不但减少了氨氮污染，而且钒矿石的浸出率提高了五个百分点，仅氨替代一项吨产品成本下降10%左右，提高了效益。要求各钒矿企业全面启动替代氨工艺改造工程建设，对不能按期完成的生产企业要停产改造，停产企业不得恢复生产。”

6) 湖北省环境保护厅：在新建项目的环境影响评价管理过程中，采纳应用了研究成果。

7) 湖北省发展和改革委员会：2013年编制的《湖北省推进钒产业可持续发展实施方案》采纳应用了该项目研究成果。

(8) 相关行业协会的应用评价

1) 中国有色金属工业协会：解决了我国页岩钒行业长期存在的“钒回收率低、环境污染”痼疾，既保证高效提钒，又实现降耗增效，控制污染。

2) 湖北省冶金工业协会：在全省冶金行业，特别是提钒企业，拟推广“提钒行业污染控制政策”中的相关建议，积极推进产业资源整合和企业重组，实现资源优化配置、有序开发、合理利用。

3) 湖北省环境保护产业协会评价：“武汉科技大学等联合完成的提钒行业先进工艺及污染防治技术成果，在我省页岩钒产业的骨

干企业采纳应用，产生了显著的社会效益和环境效益。”

(9) 部分应用实施单位的评价

1) 陕西有色金属集团五洲矿业股份有限公司：由于传统工艺采用液氨进行中和，尾矿库排放水中氨氮含量超标 (>2300ppm)，且该废水不能回收利用，周围同类矿山均因该问题而基本停产。我公司采用该项技术后，尾矿库废水全部回用，实现了清洁生产，取得了可观的社会效益和生态效益。

2) 华西能源工业股份有限公司：经与武汉科技大学等单位进行设备创新，研制出适用于钒页岩一步焙烧的新型节能多床循环流态化焙烧炉，“实现了低发热值含钒页岩的单独沸腾燃烧，脱碳效果可控性高，脱碳时间短，余热利用率比传统沸腾炉提高 25%，保证了钒页岩提取工程的高效运行”。

(10) 发表著作

在页岩钒领域首次出版了《石煤提钒》(ISBN: 978-7-03-039729-4) 和《石煤提钒先进工艺及污染防治评价理论与方法》(ISBN: 978-7-03-046239-8) 专著。

(11) 参加国际与国内会议

项目主要成员先后参加国际会议 20 余人次，应邀作关于页岩清洁生产等会议主题报告 10 余次，并在 2011 年 20 届国际材料大会 (IMRC)、2013 年 12 届东亚国际资源再循环大会 (EARTH)、2015 年中墨环境-材料国际研讨会上，分别担任大会或分会主席，产生重要影响。

五、推广应用情况

“一种石煤提钒焙烧工艺 ZL200810047378.1”、“一种用于石煤提钒脱碳的沸腾炉 ZL201010028963.4”、“一种用于石煤提钒的复合添加剂及其使用方法 ZL200910272912.3”等 16 项发明专利技术向陕西五洲矿业股份有限公司、郧西平凡矿业有限公司、宣恩泛得矿业投资有限公司等企业得到实质性推广转化。

在国内外最大的页岩钒企业陕西有色金属集团五洲矿业股份有限公司，以及华西能源工业股份有限公司、江西兴旺矿业有限公司、湖北平凡矿业有限公司等 19 家大中型页岩钒企业大范围应用，形成了我国页岩钒全产业链清洁生产污染防治关键技术与装备。。

项目产生了良好的示范效应，项目研发的“含钒页岩双循环高效氧化提钒技术”于 2013 年被国土资源部列入全国“矿产资源节约与综合利用先进适用技术”，“含钒资源一步法生产高纯五氧化二钒关键技术”2015 年被工业和信息化部列入《产业关键共性技术指南（2015 年）》，并被中国有色金属工业协会，江西、陕西、湖北等多省环境保护厅和发展改革委采纳推广；部分成果被《无机化学工业污染物排放标准》（GB31573-2015）及 5 项企业标准采纳应用。

六、主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家地区	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利状态
--------	----------	------	-----	------	------	-----	-----	--------

1 发明专利	Method for extracting vanadium from shale (一种页岩提钒方法)	美国	US 8,945,491 B2	2015年02月03日	/	武汉理工大学	张一敏、朱晓波、刘涛、黄晶、陈铁军、包申旭	有效
2 发明专利	一种石煤提钒萃原液的制备方法	中国	ZL201310564591.0	2015年11月11日	1837491	武汉科技大学	张一敏、张国斌、黄晶、刘涛、陈铁军、包申旭	有效
3 发明专利	以石煤提钒尾矿为主要原料的地聚合物及其制备方法	中国	ZL201110030834.3	2013年05月08日	1192712	武汉理工大学	张一敏、焦向科、陈铁军、刘涛	有效
4 发明专利	一种石煤提钒行业技术先进性评估方法	中国	ZL201310228752.9	2016年09月14日	2239476	武汉理工大学	张一敏、李佳、刘涛	有效
5 发明专利	一种用于石煤提钒脱碳的沸腾炉	中国	ZL201010028963.4	2012年07月25日	1012354	武汉科技大学	张一敏、刘涛、黄晶、吴世洲、陈铁军、包申旭	有效
6 发明专利	Method for extracting vanadium from vanadium-containing shale(一种从含钒页岩中提取钒的方法)	南非	2013/07286	2014年06月25日	/	武汉理工大学	张一敏、朱晓波、刘涛、黄晶、陈铁军、包申旭	有效
7 发明专利	一种利用覆铜板残渣资源化再利用的方法	中国	ZL201510190237.5	2016年10月25日	2258024	环境保护部华南环境科学研究所	刘晓文、王炜、钟明峰、陈岩赞、温勇	有效
8 软件著作权	综合类工业园循环经济核算系统[简称: XHJJHS]V1.0	中国	2013SR131177	2013年11月12日	0636939	环境保护部华南环境科学研究所	温勇、王振兴、杜建伟、项赟	有效
9 发明专利	一种浸出设备	中国	ZL200910273457.9	2011年09月07日	836526	武汉科技大学	黄晶、张一敏、刘涛、吴世洲、陈铁军、包申旭	有效
10 发明专利	一种石煤提钒高盐度富重金属废水的资源化处理方法	中国	ZL200910273138.8	2011年07月27日	814581	武汉科技大学	张一敏、包申旭、刘涛、黄晶、陈铁军	有效

七、主要完成人情况

姓名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
张一敏	1	教授	武汉科技大学	项目研究、开发和应用工作的总负责

				人，对核心发明点一、二、三、四做出创造性贡献。
温 勇	2	教授级高工	环境保护部华南环境科学研究所	对核心发明点三、四做出创造性贡献。
刘 涛	3	教授	武汉科技大学	对核心发明点一、二、四做出创造性贡献。
郝文彬	4	高级工程师	陕西五洲矿业股份有限公司	对核心发明点二、三做出创造性贡献。
艾 军	5	高级工程师	陕西五洲矿业股份有限公司	对核心发明点二做出创造性贡献。
包申旭	6	副教授	武汉理工大学	对核心发明点二、三做出创造性贡献。

八、完成人合作关系说明

自2003年5月25日起，针对基于页岩钒行业全过程污染防治清洁生产的关键技术问题，武汉科技大学张一敏，环境保护部华南环境科学研究所温勇，武汉科技大学刘涛，陕西五洲矿业有限公司郝文彬，陕西五洲矿业有限公司艾军，武汉理工大学包申旭以产学研合作方式开展项目相关研究。

张一敏为项目研究、开发和应用工作的总负责人，组织开展一步法页岩钒清洁提取技术、源头消除废水氨氮梯级循环浸出法、钒尾渣地聚物技术、页岩钒行业污染防治政策体系等核心技术发明的工作，组织参与现场工业应用；环境保护部华南环境科学研究所温勇开展钒尾渣高值综合利用技术研发，参与建立页岩钒行业污染防治政策体系，参与现场工业应用；武汉科技大学刘涛负责开展一步法页岩钒清洁提取技术、源头消除废水氨氮梯级循环浸出法的研发，参与建立页岩钒行业污染防治政策体系等具体技术工作，参与现场工业应用；陕西五洲矿业有限公司郝文彬、陕西五洲矿业有限

公司艾军共同参与源头消除废水氨氮梯级循环浸出法、钒尾渣低稳态非晶化三维重构技术等研究，并负责陕西五洲矿业有限公司现场工作实施；武汉理工大学包申旭负责钒尾渣低稳态非晶化三维重构技术等研究，参与现场工业应用。

在项目研究过程中，获得了多项技术成果产出：本项目获授权的核心发明均为项目完成人的合作成果；合作获得2016年环境保护科学技术一等奖1项，2014年湖北省技术发明一等奖1项；合作公开两项国家发明专利；合作获得2011年中国专利优秀奖1项。