

2022 年度辽宁省科学技术奖自然科学奖公示材料

项目名称：含铜不锈钢的耐微生物腐蚀功能及其机制研究

提名者：东北大学

提名意见：

近年来材料的微生物腐蚀问题日益凸显，是当今材料领域中亟需解决的一个世界性难题。申请团队在国家自然科学基金等多个项目的支持下，开展了抗菌金属材料与材料微生物腐蚀的相关研究，涉及材料、腐蚀、微生物等多学科交叉，从材料设计角度研发自身具有耐微生物腐蚀能力的新型金属材料。揭示海洋生物膜会加速金属材料的微生物腐蚀，为耐微生物腐蚀不锈钢新材料设计提供明确靶点；利用微量抗菌铜离子释放抑制生物膜形成，开发具有耐微生物腐蚀性能的含铜双相不锈钢新材料；构建富铜析出相与金属材料基体的原电池结构，揭示耐微生物腐蚀不锈钢的主要作用机制。

项目 5 篇代表性论文发表在 *Journal of Materials Science & Technology* 和 *Materials & Design* 等期刊上，SCI 他引 254 次，其中 ESI 高被引论文 1 篇。论文多次被美、德、法、澳等 20 多个国家的科学家以及国内多位院士、长江学者、杰青、千人同行引用和高度评价。这些研究成果为从金属材料设计角度解决微生物腐蚀这一世界难题奠定理论和技术基础。

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议。

提名该项目为辽宁省自然科学奖二等奖。

项目简介：

微生物腐蚀是材料、腐蚀、微生物多学科交叉的一个重要研究方向，是当今材料领域中亟需解决的一个世界性难题。微生物腐蚀每年在美国造成约 5000 亿美元的经济损失，在我国造成的经济损失也超过 4000 亿元。因此从材料设计角度研发自身具有耐微生物腐蚀能力的新型金属材料既有学术意义，还具有重要的工程应用价值。项目团队从事抗菌金属材料与材料微生物腐蚀的相关研究，成功地研发出一种具有耐微生物腐蚀性能的不锈钢新材料。主要发现点如下：

1、揭示了海洋生物膜的形成加速金属材料的微生物腐蚀这一新现象，为耐微生物腐蚀不锈钢新材料的设计提供了明确的靶点。率先发现了海洋典型腐蚀性细菌-铜绿假单胞菌易于在 2205 双相不锈钢表面形成生物膜，生物膜可导致材

料表面钝化膜中贫 Cr 区的形成，从而破坏了钝化膜的致密性，加速了 2205 双相不锈钢的点腐蚀倾向。这一发现引领了众多海洋腐蚀性细菌导致金属材料发生微生物腐蚀的研究热潮。

2、提出了利用微量抗菌铜离子释放抑制生物膜形成的材料设计思想，开发出具有耐微生物腐蚀性能的含铜双相不锈钢新材料（2205-Cu），从电化学角度阐明了含铜抗菌不锈钢降低微生物导致的点腐蚀倾向的作用机理。通过抗菌元素 Cu 含量和微观组织结构优化，采用极化曲线、交流阻抗、临界点蚀温度等电化学研究手段，结合微观组织形貌观察、生物膜结构分析和铜离子释放浓度测量，阐明了铜添加抑制 2205 双相不锈钢表面生物膜形成的电化学机制，为通过金属材料设计角度解决微生物腐蚀难题提供了理论依据和技术途径。

3、通过构建富铜析出相与金属材料基体的原电池结构，揭示出组织结构诱导下的铜离子溶出是耐微生物腐蚀不锈钢的主要作用机制。利用原子力显微镜结合富铜相的微观组织观察，揭示出含铜不锈钢表面的铜离子释放改变了细菌细胞的通透性，破坏了细菌细胞壁这一作用原理，为通过富铜相分布调控耐微生物腐蚀不锈钢材料性能奠定了技术基础。

项目 5 篇代表性论文发表在 *Journal of Materials Science & Technology* 和 *Materials & Design* 等期刊上，SCI 他引 254 次，其中 ESI 高被引论文 1 篇。论文多次被美、德、法、澳等 20 多个国家的科学家以及国内多位院士、长江学者、杰青、千人同行引用和高度评价。项目组第一完成人担任 *Journal of Materials Science and Technology*、*NPJ (Nature partner journal) Material Degradation* 等 9 本 SCI 期刊的编辑、特刊主编或编委，为微生物腐蚀领域全球高被引论文最多的学者，并入选 2021 年全球引用前 2% 顶尖科学家榜单，主持国家自然科学基金联合重点、面上、青年项目共 4 项，获中组部万人计划青年拔尖人才和辽宁省“兴辽英才计划”青年拔尖人才，获中国腐蚀与防护杰出青年学术成就奖，辽宁省青年科技奖和强国青年科学家提名奖。

主要完成人（完成单位）：

1. 徐大可（东北大学）
2. 杨春光（中国科学院金属研究所）
3. 杨柯（中国科学院金属研究所）
4. 南黎（中国科学院金属研究所）
5. 任玲（中国科学院金属研究所）

代表性论文（专著）目录（不超过 5 篇）

序号	论文（专著） 名称/刊名 /作者	年卷 页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时 间（年 月 日）	通讯作 者（含 共同）	第一作 者（含 共同）	国内 作者	他引 总次 数	检索 数据 库	论文署名 单位是否 包含国外 单位
1	Accelerated corrosion of 2205 duplex stainless steel caused by marine aerobic Pseudomonas aeruginosa biofilm/Bioelectrochemistry/Dake Xu, Jin Xia, Enze Zhou, Dawei Zhang, Huabing Li, Chunguang Yang, Qi Li, Hai Lin, Xiaogang Li, Ke Yang	2017, 113,1 -8	2016/0 8/22	Dawei Zhang, Chunguang Yang	Dake Xu	Dake Xu, Jin Xia, Enze Zhou, Dawei Zhang, Huabing Li, Chunguang Yang, Qi Li, Hai Lin, Xiaogang Li, Ke Yang	71	web of science	否

2	Enhanced resistance of 2205 Cu-bearing duplex stainless steel towards microbiologically influenced corrosion in marine environments containing aerobic Pseudomonas aeruginosa biofilms/Journal of Materials Science & Technology/Dake Xu, Enze Zhou, Ying Zhao, Huabing Li, Zhiyong Liu, Dawei Zhang, Chunguang Yang, Hai Lin, Xiaogang Li, Ke Yang	2018, 34, 1325-1336	2017/11/14	Dawei Zhang, Chunguang Yang	Dake Xu	Dake Xu, Enze Zhou, Ying Zhao, Huabing Li, Zhiyong Liu, Dawei Zhang, Chunguang Yang, Hai Lin, Xiaogang Li, Ke Yang	41	web of science	否
---	---	---------------------	------------	-----------------------------	---------	--	----	----------------	---

3	Effect of Cu addition to 2205 duplex stainless steel on the resistance against pitting corrosion by the Pseudomonas aeruginosa biofilm/Journal of Materials Science & Technology/Ping Li, Yang Zhao, Yuzhi Liu, Ying Zhao, Dake Xu, Chunguang Yang, Tao Zhang, Tingyue Gu, Ke Yang	2017, 33, 723-727	2016/11/18	Dake Xu, Tao Zhang	Ping Li	Ping Li, Yang Zhao, Yuzhi Liu, Ying Zhao, Dake Xu, Chunguang Yang, Tao Zhang, Ke Yang	22	web of science	是
4	Study of copper precipitation behavior in a Cu-bearing austenitic antibacterial stainless steel/Materials & Design/Ling Ren, Li Nan, Ke Yang	2011, 32, 2374-2379	2010/11/17	Ke Yang	Ling Ren	Ling Ren, Li Nan, Ke Yang	55	web of science	否

5	Study on antibacterial mechanism of copper-bearing austenitic stainless steel by atomic force microscopy/Journal of Materials Science: Materials in Medicine/Li Nan, Yongqian Liu, Manqi Lu, Ke Yang	2008, 19, 3057-3062	2008/04/05	Ke Yang	Li Nan	Li Nan, Yongqian Liu, Manqi Lu, Ke Yang	65	web of science	否
合 计							254		