

附件 4

河南省职业教育教学成果奖 附件材料

(请以此页为封面, 将附件单独装订成册)

成果名称 “六并举、四耦合、三进阶” 乌金智匠职业启蒙教育基地建设模式研究与实践

第一完成单位 平顶山工业职业技术学院

主要完成人 张立芳、高争、李成伟、任国玺、刘宏培、阮寅芝、张中央、宋佳、朱金矿、任聚阳、陈召飞、翟文硕、孙南非

推荐序号 0502

附件目录:

- 一、《教学成果总结报告》(附查新查重证明)。
- 二、国家级和省级教学项目。
- 三、国家级和省级科研项目。
- 四、教学成果校外推广应用及效果证明材料(附件6)。
- 五、教育教学类论文、论著。
- 六、省级及以上新闻媒体报道。
- 七、成果及主要成员获得奖励及荣誉。
- 八、教材成果。

5. 教育教学类论文、论著

论文题目	期刊名称	期刊等级	发表时间
探索智慧矿山职业启蒙基地的建设模式与实践路径	教育教学研究	CN	2024-11
Regulation of photoelectric properties of multi-element (Sn, Fe, Ce) co-doped anatase TiO ₂ : The first principles study	Chemical Physics Letters	SCI	2024-06
Research on a Convolutional Neural Network Method for Modulation Waveform Classification	IAENG International Journal of Computer Science	EI	2023-09
需求导向与协同创新：煤矿智能开采技术领域产教融合共同体的建设路径与效能研究	中国高等教育	CSSCI	2026-06
高质量产业学院建设模式研究与实践	北大荒文化	CN	2023-12
Sm ₂ Y _{1-x} Al _x TaO ₇ 陶瓷材料的热物理性能	中国陶瓷	中文核心	2024-04
数字化转型背景下智慧矿山产教融合的现状、困境与突破路径研究	读报参考	CN	2023-10
智能时代背景下职业教育数字化转型的挑战及路径研究	葡萄酒	CN	2025-12
煤矿智能矿山自动化开采技术与应用	工程学研究与应用	CN	2023-11-15
基于现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用解析	工程技术	CN	2021-08-15

(1) 探索智慧矿山职业启蒙基地的建设模式与实践路径，《教育教学研究》

About the Publisher

Universe Scientific Publishing (USP) was established with the aim of providing a publishing platform for all scholars and researchers around the world. With this aim in mind, USP began building up its base of journals in various fields since its establishment. USP adopts the Open Access movement with the belief that knowledge is to be shared freely without any barriers in order to benefit the scientific community, which we hope will be of benefit to mankind.

USP hopes to be indexed by well-known databases in order to expand its reach to the scientific community and eventually grow to be a reputable publisher recognized by scholars and researchers around the world.

Our Values

- ✓ **Passion for Excellence** our values
We challenge ourselves to excel in all aspects of publishing and most importantly, we enjoy in what we are doing.
- ✓ **Open Communication**
We believe that the exchange of ideas through open channels of communication is instrumental to our development. We are in continuous consultation with the research and professional communities to influence our direction.
- ✓ **Value & Respect**
We empower our employees to proactively contribute to the success of the company. We encourage our people to innovate and execute, independently and collaboratively.





教育教学研究
2024年二月三期

教育教学研究

Education and Teaching Research

2024年11月 第6卷 第11期
ISSN:2737-4130
EISSN:2705-1277

本刊由谷歌学术、中国知网检索
所有论文均通过国际科技出版商联盟系统“Crossref”的链接并经过专家鉴定，期刊在加拿大地区图书馆注册，本刊遵循国际开放存取出版原则，欢迎转载和下载。
9 772737 1277

- ◆ 主 管：
新加坡环宇科学出版社
- ◆ 主 办：
新加坡教育教学研究杂志社
- ◆ 主 编：
牟友林
- ◆ 编委主任：
郑文昌
- ◆ 编委成员：
张天芝 王付娟
- ◆ 组稿编辑：
刘 琳 王 宁 师恩巧 潘勇恒 王忠霞
李志青 王 芹 王新福 沈 梦 刘 星
徐 杨 张金华 孙远志
- ◆ 美术编辑：
吴忠娟
- ◆ 排版编辑：
吴 丹
- ◆ 国际刊号：
ISSN:2737-4130
EISSN:2705-1277
- ◆ 编辑部电话：
010-80818140
- ◆ 投稿邮箱：
jyjxyj2022@126.com
- ◆ 发行范围：
全国公开发行
- ◆ 出版周期：
月刊
- ◆ 定 价：
25元
- ◆ 官 网：
<http://cn.usp-pl.com/index.php/jyjxyj>
73 upper Paya Lebar road #07-02B-03
centro bianco Singapore (534818)

目 录

浅析大学生人际交往能力	李可心 1
从信托到数据：构建基于信托理论的个人数据银行制度	向悦 李一鸣 4
偏向政治立宪主义的英国弱司法审查模式	赵佳艺 7
异质利益衡量的可行性探究	母文洁 10
全民健身背景下数字化体育运动推广的意义和策略分析	卢思羽 舒星 郑宇鑫 14
浅析大专钢琴教学中乐理知识与演奏技巧的融合教学	樊一霖 胡程 17
自媒体乡村短视频乡愁叙事的中国式审美现代性表征	何小霞 魏月萍 20
恩格斯《自然辩证法》的技术思想及其当代价值	何哲 23
产教融合背景下应用型商务英语专业人才培养研究	胡洁颖 26
亲情的多维镜：图尔敏模型下情节单元建构策略	张雨 28
论中国古诗词艺术歌曲在课程思政中的实践意义	石亮 30
国有企业工会助力产业工人队伍建设改革的思考	张伟国 33
AI 技术在高校教学管理的应用实践研究	雷玺 36
《职业生涯规划》融入课程思政工作的设计理念与方法研究	李静 郭秀秀 田苗苗 39
实践取向向下高校《学前儿童数学教育》课程课堂教学改革探究	周倩亭 42
论延迟退休制度的立法比较研究	石嘉倩 45
初中数学教学里分层教学对学生成绩的影响	帕提姑·阿不力孜 47
农村母亲陪读的动力机制、困境与调适研究	潘容 翟宁 50
探索智慧矿山职业启蒙基地的建设模式与实践路径	张立方 高争 53
时代新人培养与大学生理想信念教育的互动关系研究	杜雨珊 杨滨旭 付一涵 56
幼儿心理健康教育的重要性与实施	王爱萍 59
未成年人严重不良行为专门干预措施的完善路径研究	徐静雨 62
中职学校烘焙专业“红匠人才”培养路径探索与实践	闫小艳 65
基于就业导向的高职舞蹈教学实践课程体系构建探索	张媛媛 68
以学生为中心的机械教学方法改革与创新实践	岳鹏 张志刚 71

探索智慧矿山职业启蒙基地的建设模式与实践路径

张立方 高争
(平顶山工业职业技术学院 河南平顶山 467001)

摘要: 智慧矿山职业启蒙基地作为培养新时代矿业人才的重要平台,对促进矿山产业转型升级具有重要意义。通过建立智慧矿山职业启蒙基地可以让青少年深入了解矿山行业发展现状,体验智能化设备操作过程,培养对矿业的兴趣,在实际建设过程中需要整合多方资源,构建完整的实践教学体系,打造沉浸式体验环境,同时还要注意实践课程开发,引入虚拟仿真等新技术手段,建立长效运营机制。通过搭建智慧矿山职业启蒙平台开展多样化的职业体验活动,激发青少年对矿业的认知和兴趣,为矿山行业储备优质人才,建议从基地规划布局、课程体系开发、师资队伍建设和等方面入手,探索出一套可持续发展的建设模式和实践路径。

关键词: 智慧矿山; 职业启蒙; 实践教学; 人才培养

随着矿山智能化转型的不断深入,智慧矿山建设对专业人才的需求日益迫切。职业启蒙基地作为培养青少年职业认知和兴趣的重要平台,在矿业人才培养中发挥着独特作用,建设智慧矿山职业启蒙基地,不仅能够青少年近距离接触和了解矿山行业还能通过沉浸式体验培养职业兴趣。从长远来看,这对引导更多优秀人才投身矿业、推动矿山产业高质量发展具有重要意义,目前智慧矿山职业启蒙基地建设仍处于探索阶段,在建设模式、实践路径等方面还需要进一步创新和完善,因此深入研究智慧矿山职业启蒙基地的建设思路和具体措施具有重要的理论价值和实践意义。

1 智慧矿山职业启蒙基地建设背景分析

近年来矿山行业快速发展,智能化技术广泛应用,对专业技术人才的需求持续增长,然而目前青少年对矿山的认知度和关注度不足,导致人才储备和培养存在断层现象,传统的职业教育模式难以满足新时代矿山行业发展需求,缺乏实践性和体验性的教学环节。在这种背景下,建设智慧矿山职业启蒙基地显得尤为重要,通过建立集展示、体验、实践于一体的职业启蒙基地,能够让青少年近距离了解矿山行业的发展现状和前景,借助虚拟仿真、数字孪生等新技术手段,可以创造沉浸式的学习环境,激发学习兴趣。职业启蒙基地的建设有助于推动产教融合,为矿山企业和职业院校搭建合作平台,实现资源共享和优势互补,基地建设还能带动相关产业发展,促进区域经济转型升级,因此建设智慧矿山职业启蒙基地不仅是培养未来矿业人才的重要举措,也是推动矿山行业高质量发展的必然选择^[1]。

2 智慧矿山职业启蒙基地建设模式研究

2.1 基地总体规划布局

智慧矿山职业启蒙基地的规划布局应遵循功能完备、布局合理、分区明确的原则,基地整体可划分为理论学习区、智能展示区、实践体验区、创新研发区和综合服务区五大功能区域。理论学习区主要设置多媒体教室、报告厅等教学场所,为学员提供系统化的理论知识学习空间,实践体验区重点打造矿山设备操作、工艺流程模拟等实训场地,配备相应的教学设备和工具,创新研发区则着重建设创客空间、创新工作室等场所,为学员提供创新实践平台。综合服务区配备办公室、接待室、休息室等后勤保障设施,各功能区之间通过合理的动线设计实现有机衔接,既保证相对独立又能互为补充,同时在场地规划中预留后续发展空间,为基地未来扩展提供可能。

2.2 智能化展示区域设置

智能化展示区域作为基地的重要组成部分,主要展示矿山智能化发展成果和前沿技术应用,展示区采用“一中心四展区”的布局方式,中心为智慧矿山数字沙盘,直观展现矿山生产全流程,四个展区分别为智能化装备展区、数字化应用展区、信息化系统展区和科技创新展区。智能化装备展区重点展示矿山机器人、无人驾驶设备等智能装备实物和模型,数字化应用展区通过多媒体、虚拟现实等技术,展示矿山数字化应用场景,信息化系统展区主要展示智能调度、远程控制等系统的运行效果,科技创新展区则重点展示行业最新科技成果和未来发展趋势。展示内容注重互动性和体验感,采用声光电等多种展示手段,增强参观者的沉浸感和获得感,在展示区域设计中采用开放式布局,通过动线引导实现各展区的自然衔接,配备专业讲解团队,为参观者提供详

细的技术讲解和互动体验指导,设置信息查询终端,方便参观者获取展品相关信息¹⁹。

2.3 实践教学设施配置

实践教学设施是职业启蒙基地的核心要素,需要围绕培养目标进行科学配置。在设备选型方面以满足职业启蒙和技能培养需求为导向,配备仿真操作平台、智能培训系统、虚拟现实设备等先进教学设施,针对不同年龄段学员特点,设置分层次的实践教学设备,初级设备注重趣味性和体验感,中级设备强调基础技能训练,高级设备突出专业技能培养,同时配备远程教学系统,实现线上线下教学资源共享。在功能布局上,设置单人操作台、小组实训区和团队协作区,满足不同教学场景需求,为确保教学效果,配备教学辅助设备,如多媒体展示系统、在线考核系统等,在设施维护方面,建立定期检修制度,配备专业维护人员,确保设备始终保持良好状态。

2.4 体验项目开发设计

体验项目开发设计应立足职业启蒙目标,结合青少年认知特点和兴趣爱好,打造趣味性、专业性相结合的体验项目。以“寓教于乐”为理念,开发矿山设备模拟驾驶、智能机器人编程、虚拟现实沉浸式体验等互动项目,针对不同年龄段设计差异化体验内容,小学阶段以认知体验为主,初中阶段增加动手实践内容,高中阶段融入专业技能训练。在项目设计中注重情景创设,通过任务闯关、角色扮演等形式增强体验感和参与度,建立项目评价反馈机制,根据学员表现和反馈及时优化项目内容,定期更新体验项目,引入新技术、新设备,保持项目的先进性和吸引力,建立项目档案库,记录体验效果,为后续优化提供依据。

2.5 数字化资源建设

数字化资源建设需围绕职业启蒙教育需求,构建完整的数字资源体系,建立数字资源管理平台,整合各类教学资源,包括三维动画、虚拟仿真课件、微课视频等多媒体素材。针对不同学习阶段,开发系列化的数字课程,涵盖矿山设备认知、工艺流程体验、创新思维培养等内容,同时配备数字资源制作工具,支持教师自主开发教学资源,通过分类管理和标签设置实现资源快速检索和精准推送,建立资源评价机制,对数字资源的实用性、教学效果进行评估,筛选优质资源重点推广。

在技术应用层面,引入数字孪生技术构建虚拟矿山场景,实现真实环境的数字化再现。建设在线学习平台,提供资源共享、在线互动、远程指导等功能,支持学员自主学习,开发移动端应

用程序,方便学员随时随地进行知识学习和技能训练,针对不同终端设备,进行资源适配优化,确保访问流畅。建立数字资源更新机制,定期收集整理行业新技术、新工艺相关资料,及时充实资源库内容,制定数据备份和保护策略,采用分布式存储方案,确保数字资源安全可靠,通过建立资源共享联盟实现优质教育资源的互通共享²⁰。

2.6 运营服务体系构建

运营服务体系构建应着眼于基地可持续发展,形成科学高效的运营模式,建立专业化运营团队,明确岗位职责,制定工作标准和考核制度。构建完善的财务管理制度,合理配置资金,确保基地稳定运行,制定年度运营计划,包括教学活动安排、设备维护计划、资源更新方案等,建立基地预约服务系统,实现访问预约、活动报名等功能的线上化管理。设立意见反馈渠道,及时收集学员、家长和教师的建议,持续改进服务质量,开展定期评估,对基地运营效果进行分析,找出问题并制定改进措施,建立与企业、学校的长期合作机制,吸引社会资源参与基地建设和运营,制定应急预案,确保基地各项活动安全有序开展。

3 智慧矿山职业启蒙基地实践路径探索

3.1 教学实践活动开展

教学实践活动是职业启蒙基地发挥作用的关键环节,需要建立系统化的活动开展机制,根据不同季节和假期特点,制定年度活动计划,开展职业体验夏令营、科技创新竞赛、技能培训班等特色活动。通过组织专题讲座、技术讲解、现场演示等形式让学员深入了解矿山行业知识,开展项目式学习活动,围绕具体任务展开探究和实践,培养学员解决问题的能力,定期举办创新创业大赛,激发学员的创造力和想象力。通过团队协作项目培养学员的沟通能力和团队意识,建立活动档案,记录每次活动的组织过程和取得效果,根据活动反馈及时调整活动内容和形式,确保活动效果,建立活动评价体系,从参与度、满意度、学习效果等方面进行综合评估²¹。

3.2 专业师资队伍建设

专业师资队伍是基地可持续发展的重要保障,需要构建多层次的人才培养体系,通过校企合作方式引进企业技术人员担任实践指导教师,建立专兼结合的教师团队。开展教师培训计划,定期组织教师参加专业技能提升、教学方法创新等培训活动,建立教师成长激励机制,支持教师参与教研项目、技术创新和课程开发,组织教师开展教学研讨,交流教学经验,探索创新教学

方法。建立教师考核评价体系,从教学效果、科研成果、育人成效等方面进行综合评价,鼓励教师深入企业一线,了解行业发展动态,提升实践指导能力,建立师徒帮带制度,促进新老教师共同成长,通过建立教师发展档案记录教师成长轨迹,为职称评定和岗位晋升提供依据。

3.3 校企合作模式创新

校企合作模式创新要以共赢发展为目标,探索多元化合作路径,通过签订战略合作协议明确校企双方在基地建设和运营中的责任和权益。建立联合培养机制,企业提供实践场地和设备支持,学校负责课程开发和教学实施,开展订单式人才培养项目,根据企业需求设置特色课程,为企业储备后备人才,建立企业技术专家定期授课制度,将实际工作经验转化为教学资源,组织学员参观企业生产现场,体验真实工作环境。设立校企联合创新实验室,开展技术攻关和成果转化,通过项目合作方式让学员参与企业实际项目,提升实践能力,建立定期会商机制,及时总结合作成效,优化合作方式,探索建立利益共享机制,调动企业参与积极性。

3.4 社会资源整合利用

社会资源整合利用需要构建多方联动机制,充分发挥各类资源优势,通过与科研院所合作引入先进技术和研究成果提升基地科技含量。与职业院校建立协同育人机制,共享教育资源和实训设备,联合行业协会开展技能认证,为学员提供职业资格认证服务,引入社会培训机构参与课程开发和教学实施,丰富培训内容,建立与周边学校的合作关系,将职业启蒙教育纳入学校课程体系。争取政府部门支持,获取政策和资金支持,吸引社会企业参与基地建设,提供设备捐赠和资金赞助,建立资源共享平台,实现各类资源的优化配置和高效利用,定期组织资源对接会,促进各方深入交流与合作。同时建立资源评估机制,对合作效果进行定期评估和反馈,优化资源配置方案,设立项目合作基金,为优质合作项目提供资金支持,形成可持续的合作发展模式,创新合作形式,探索建立虚拟产业学院,打造产学研一体化发展平台^[4]。

3.5 长效机制建立健全

长效机制建立健全要着眼于基地持续发展,构建完整的制度体系。建立基地理事会制度,统筹协调各方关系,制定发展战略和规划,完善内部治理结构,设立专门机构负责日常运营和管理,

制定基地管理制度,规范教学活动、设备使用、安全保障等工作,建立经费保障机制,通过多渠道筹集资金确保基地正常运转。设立项目管理制度,规范项目立项、实施和验收流程,建立考核评价机制,定期对基地建设和运营情况进行评估,制定激励措施,调动各方参与积极性,建立信息反馈机制,及时发现和解决问题,形成动态调整机制,根据发展需要优化完善各项制度。

4 结语

智慧矿山职业启蒙基地作为矿业人才培养的重要载体,需要在建设过程中不断创新和探索,通过建立完善的硬件设施、开发特色课程体系、打造专业师资队伍,才能形成可持续发展的运营模式。在实践路径方面,要注重发挥多方优势,整合各类资源,通过开展丰富多样的实践活动提高基地的吸引力和实效性,未来还需要在数字化建设、体验项目开发、校企合作等方面持续发力,不断完善建设模式,优化实践路径,真正发挥职业启蒙基地在培养矿业人才方面的重要作用,为矿业行业的持续发展提供有力支撑。

参考文献:

- [1]栗瑞敏,叶秀雅,赵小娟,等.现代产业学院建设模式的探索与实践——以广东轻工职业技术学院智慧检测产业学院为例[J].科学咨询,2023,(19):103-105.
 - [2]徐倩文.职业启蒙视域下中职学校职业体验研学基地建设探析——以G市LY职业中等专业学校为案例[D].广西民族大学:广西师范大学,2021.
 - [3]李琦,鞠海鹏,莫晓军.浅析劳动教育对提升职业启蒙德育价值功能的策略[J].环球飞行,2024,(11):55-57.
 - [4]李世文.综合实践基地职业体验课程体系建设与实践[J].新校园,2024,(12):24-26.
 - [5]李长亮,洪秀文.高职院校职业启蒙教育研学基地建设总体设计[J].包装世界,2023,(05):163-165.
- 张立方(1968.09-),男,汉族,河南南阳人,硕士,副教授
研究方向:职业教育
- 本文系平顶山工业职业技术学院“聚焦产业需求重塑孪生生态:高质量产业学院建设模式研究与实践”(项目编号:豫教〔2023〕02983)研究成果。

(2) Regulation of photoelectric properties of multi-element (Sn, Fe, Ce)
co-doped anatase TiO₂ : The first principles study Chemical Physics
Letters

Chemical Physics Letters 844 (2024) 141265

Contents lists available at ScienceDirect

Chemical Physics Letters

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/cpllett

Research paper

Regulation of photoelectric properties of multi-element (Sn, Fe, Ce) co-doped anatase TiO₂: The first principles study

Ren Guoxi^a, Guan Yongxin^{b,*}

^a School of Computer and Software Engineering, Pingdingshan Polytechnic College, Pingdingshan, 467000, China
^b Key Laboratory of Material Processing and Mold Technology, School of Architectural Engineering, Changqing Industry Polytechnic College, Changqing 401120, China

ARTICLE INFO

Keywords:
Electronic structure
First principles study
Doped
TiO₂
Optical properties

ABSTRACT

The energy band structure, density of states and optical properties of multi-element (Sn, Fe, Ce) co-doped anatase titanium dioxide have been calculated using the first principles method. The results show that two-element (Sn, Fe, Ce) doping affects the energy band structure more than the single doping behaviour. Co-doping of two of the three elements (Sn, Fe, Ce) reduced the energy band gap values of TiO₂ compared to pure anatase TiO₂. The forbidden bandwidths of Sn and Ce were smaller than those of mono-doped Sn, but the co-doped system had higher bandwidth narrowing than that of the mono-doped system. The co-doping of Sn and Ce is 0.206 eV smaller than the single doping of Sn, and the co-doping of Sn and Fe is 0.56 eV smaller than the single doping of Sn. The utilization of the regional light absorption is increased, and the absorption spectra are red-shifted. It can be seen that the co-doping method is more favourable to the improvement of visible light response and visible photocatalytic activity of TiO₂ than the single doping method.

1. Introduction

TiO₂ is a semiconductor material with a band gap of about 3.02 eV, corresponding to an absorption wavelength of about 390 nm [1], which is cheap, non-toxic, and easy to handle, and since its industrial application in the early 20th century, it has made a big splash in the energy and environment due to its biocompatibility and environmental friendliness [2,3]. In addition, the study of TiO₂ has become a focus, and by modifying it, it also has great application prospects in the fields of photovoltaics [4,5], photocatalysis [6,7], photoelectrochromism, and sensors [8,9], etc. TiO₂ as a highly efficient and environmentally friendly photocatalyst, is widely used in the photodegradation of a variety of pollutants, and its photocatalytic reaction mechanism has been widely studied [10–14]. However, unmodified titanium dioxide crystals have a wide energy bandgap and respond to only 4% of the total energy of natural light in the ultraviolet, but the utilisation of visible light is low [15,16]. In order to improve this state, the idea of bandgap modulation has gradually been recognised by a large number of researchers. Hanan H. Ibrahim [17] studied that the Cr/Bi co-doped anatase TiO₂ as a good photocatalyst with longer life of the photogenerated charge carriers, on mono-doping, the deep impurity states could impact the photocatalytic activity by promoting the electron transitions. Dongxiang Li et al [18] investigated that the electronic and optical properties of Se-doped, C-doped, and Se/C-co-doped TiO₂ (101) surfaces using spin-polarized DFT + U calculations. The Se/C-co-doped TiO₂ (101) surface with 5.56 % impurity concentration exhibited optimal photocatalytic performance in the visible region.

In this paper, the effect of Sn, Fe, Ce doping on the photovoltaic properties of the anatase TiO₂ system is investigated by constructing the anatase TiO₂ system and using the first-principles approach.

2. Computational methods

In this chapter, all energy calculations and geometry optimizations in the work are performed using the first principles of DFTs containing ultra-soft pseudopotentials, which can be implemented in the CASTEP module within Materials Studio [19]. The exchange–correlation action is described by means of the GGA-PBE method [20]. The plane-wave fundamental group truncation energy is set to 400 eV and a dipole correction is applied. For structural optimisation and energy calculations, a 5 × 5 × 1 K-point grid automatically generated by the Monkhorst-Pack scheme was selected. For the geometry optimisation [21], the self-consistent accuracies of force and energy are set to 0.03 eV-Å⁻¹ and 1 × 10⁻⁶ eV [22–24]. The maximum stress and displacement

* Corresponding author.
E-mail address: guan.yongxin318@163.com (G. Yongxin).

<https://doi.org/10.1016/j.cpllett.2024.141265>
Received 6 April 2024; Accepted 11 April 2024
Available online 15 April 2024
0009-2614/© 2024 Elsevier B.V. All rights reserved.

per atom are set to 0.05 GPa and 0.001 Å, respectively, and the parameters are set to achieve the expected convergence results. In addition, the Spin-Orbital-Coupling (SOC) effect is expected to interfere with the heavy metal atoms and is therefore taken into account in the calculation of the energy band structure [25].

In order to search for the stable structure of Sn, Fe, Ce doped TiO₂, we calculate the binding energy (Eb), defined as:

$$E_b = E_{\text{total}} - (E_x + E_{\text{TiO}_2}) \quad (1)$$

where E_{total} is the total energy of X doped TiO₂, E_x is the energy of Sn, Fe, Ce atom, and E_{TiO₂} is the energy of anatase TiO₂.

3. Results and discussion

As shown in Fig. 1, the structure of the anatase TiO₂ supercells was optimised. The structure optimisation of the anatase TiO₂ supercell was carried out, and the calculated binding energy of TiO₂ after structure optimisation are shown in Table 1. The lattice parameters of anatase TiO₂ are a = b = 3.806 Å, c = 9.8654 Å, which is consistent with the results of Long et al [26]. However, compared with experimental data, they are overestimated, a = 3.782 Å and c = 9.502 Å [27]. The bond lengths of the Ce-O bond were 2.026 Å and Sn-O bond were 2.096 Å, which were much longer than those of the Ti, which is much longer than that of Ti-O bond (1.976 Å) and causes an increase in the lattice parameter of TiO₂ when Ce and Sn are substituted for Ti. The bond length of Fe-O bond is 1.937 Å, which is much smaller than that of Ti-O bond (1.976 Å).

As can be seen from Table 1, the binding energies of Sn and Ce-TiO₂ are -8.463 eV, and Sn and Fe-TiO₂ are -4.665 eV, which shows that the co-doping is also relatively stable in comparison with the single doped system, and the co-doped structure of Sn and Fe is more stable.

3.1. The electronic properties of Sn, Fe and Ce doped TiO₂

Fig. 2 shows that the band structure of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO₂. The bandwidth of Sn substitution Ti doping is about 2.032 eV, Sn

Table 1

The binding energy of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO₂.

Structure	Total energy/eV	Binding energy/eV
Ce-TiO ₂	-95.61.357	-14.577
Fe-TiO ₂	-91.74.340	-12.742
Sn -TiO ₂	-103.72.641	-10.799
Sn and Ce-TiO ₂	-100.21.697	-8.463
Sn and Fe-TiO ₂	-89.47.677	-4.665

doping shifts the bottom of the conduction band of TiO₂ downward and introduces an impurity energy level below the conduction band, which further reduces the bandwidth of TiO₂. The impurity energy level of Fe is located in the middle of the forbidden band, which becomes the intermediate energy level, and the existence of the intermediate energy level can also make the electrons absorb smaller light energy and achieve indirect jump, which reduces the number of photogenerated carriers, and is unfavourable to the photocatalytic performance of the photocatalytic performance. The energy band of the conduction band of Ce doping is slightly shifted downward, and the forbidden bandwidth is only reduced by 0.4 eV, which is mainly due to the shielding effect in the Ce f electron layer wrapped by the thick p and s electron layers, thus leading to the shielding effect. This is mainly due to the fact that the f electron layer of Ce is wrapped by the thick p and s electron layers, which leads to the shielding effect. The co-doping of Sn, Fe, Ce, on the other hand, reduces the energy band gap values of TiO₂ (1.496 eV and 1.847 eV), which are lower than those of the singly doped TiO₂. In brief, the reduction of band gap width and the introduction of impurity energy levels caused the electrons to jump from the valence band to the impurity energy levels, i.e., absorbing the long-wave photons, leading to a red-shift of the TiO₂ absorption spectrum in favour of the visible light response range of TiO₂. Having analysed the density of states of the doped system, as shown in Fig. 3(a), we compare the PDOS of the Sn-Ti structure with that of the pure anatase TiO₂: the difference in the energy value of the electrons in the s orbitals of the outer layers of the Sn atoms leads to a broadening of the conduction band edges by about 0.05 eV (similar to the previous theoretical results [28,29]), which results in a

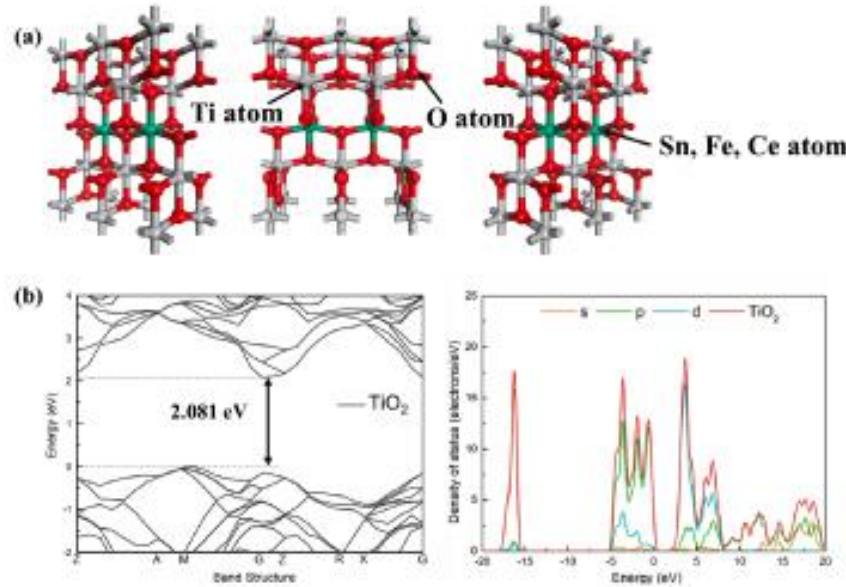


Fig. 1. Structural diagram of multi-element co-doped anatase TiO₂.

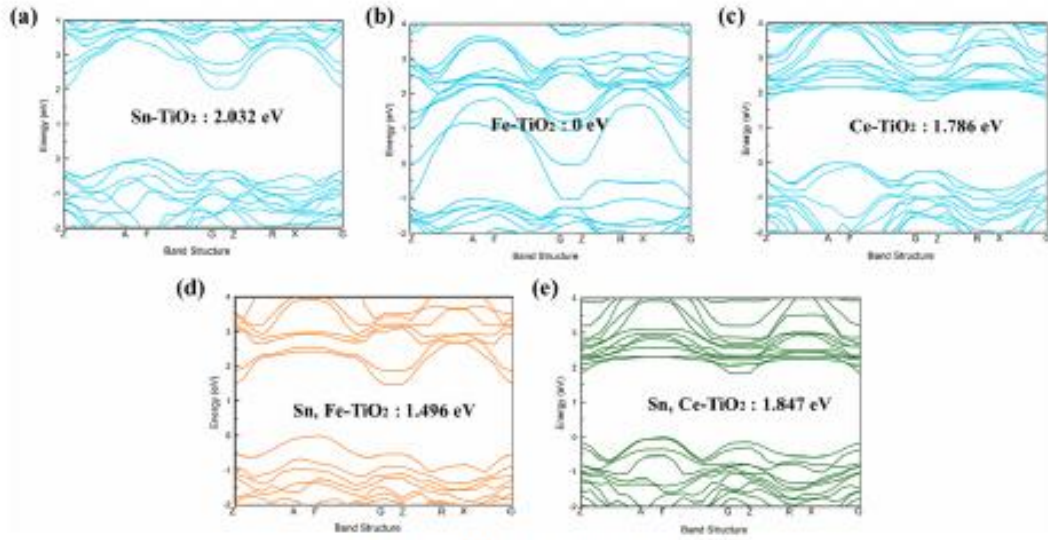


Fig. 2. The band structure of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 .

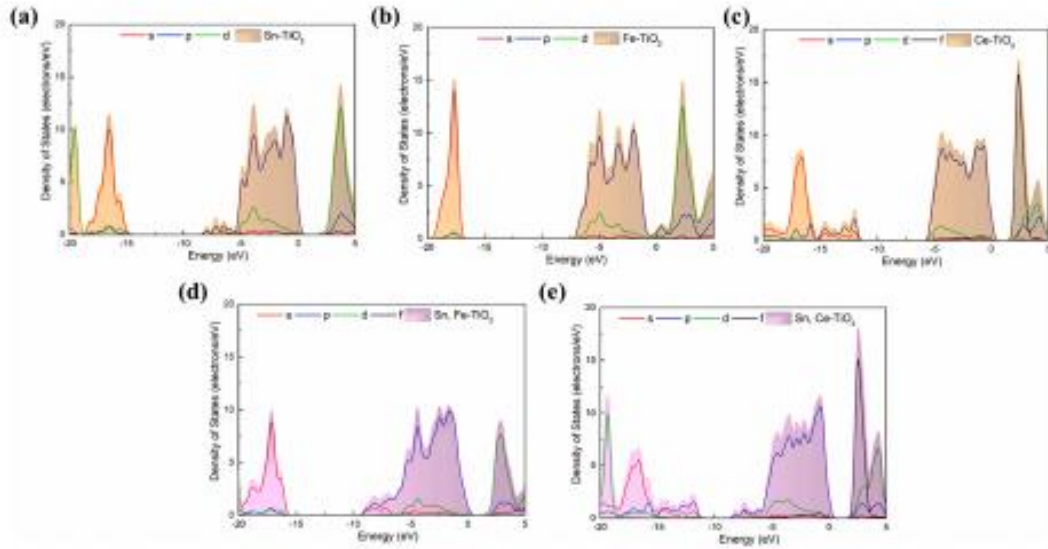


Fig. 3. The Density of states of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 .

blueshift manifested in the optical absorption spectrum. Fig. 3(d) and (e) show the densities of Sn-Fe, Sn-Ce co-doped states. Comparing with the density of states of Sn, Fe, Ce single doped states, it is found that the s orbitals of Sn and the f orbitals of Ce near the conduction band are shifted to the low-energy direction, which is shown as a shift of the conduction band downward in the energy band diagrams, and the width of the forbidden band is thus reduced, which is in agreement with the results of the energy band calculations.

3.2. The optical properties of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2

In the linear response range, the optical properties of the semiconductor (absorption coefficient, refraction coefficient, reflection coefficient, etc.) are related to the dielectric function with the expression:

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_1(\omega) + i\epsilon_2(\omega) \quad (2)$$

where: $\epsilon(\omega)$ is the dielectric function; $\epsilon_1(\omega)$ is the real part of the

dielectric; $\epsilon_2(\omega)$ is the imaginary part of the dielectric; ω is the wave angle frequency function. The purple line in Fig. 4 is the imaginary part of the dielectric function, which corresponds to the optical absorption loss spectrum of the medium, which is a physical quantity that describes the energy loss of electrons when they pass through a homogeneous medium, and its peaks correspond to the interband transitions of electrons. We can get the imaginary part of the dielectric function of Sn, Fe and Ce single-doped TiO_2 , whose first energy loss peak is located at 4.8 eV–5.1 eV, and the energy loss decreases with the increase of photon energy, and then two peaks appear, which are located near 6 eV to 7 eV and 9 eV to 10 eV, respectively; Sn-Fe co-doped and Sn-Ce co-doping TiO_2 , the first peaks can be read at 3.96 eV and 4.38 eV, respectively, and as the photon energy increases, two peaks appear at 7.02 eV and 12.91 eV, 7.35 eV and 9.04 eV, respectively.

Fig. 5(a) shows the photoconductivity of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 . As can be seen from the figure, both undoped anatase TiO_2 and doped anatase TiO_2 have larger photoconductivity values in the UV region, with values above 1.5, indicating higher UV light utilisation. With the elements doped into the system, the photoconductivity produces different degrees of left shift, and the change rule is similar to the imaginary part of the dielectric function, indicating that the conductivity is enhanced, which is conducive to the generation and movement of photogenerated carriers, and therefore the elemental doping will improve the catalytic efficiency of visible light.

Fig. 5(b) and (c) shows the refractive index and reflectance of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 . From the refractive index image can be seen after doping the refractive index remains above 2.5, indicating that elemental doping can maintain a high refractive index; reflectivity affects the degree of use of light by anatase TiO_2 , can be seen in the figure in the visible region of 0.14 to 0.28, reflectivity is extremely low, indicating that in order to facilitate the absorption of visible light; and in the ultraviolet region, the elemental doping is leads to higher reflectivity, so the doped anatase TiO_2 is favourable for UV reflection.

Fig. 6 shows the absorption spectra of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 . It can be seen that the undoped anatase TiO_2 absorption coefficient in the visible region is not large, which is caused by the larger value of

the energy band gap, which coincides with the results of band gap calculations, in anatase TiO_2 doped elements after the band gap becomes smaller, the visible region of the light absorption utilisation has been enhanced, and the absorption spectra have been red-shifted. The covalent interaction between Ti and O in the doped system is stronger than that between rare and non-metallic elements. The reason for the red shift is rare elements and non-metallic elements doped anatase TiO_2 band gap is narrower than before, so the electron from the original position to transfer to the conduction band of the need for less energy of the light, which is consistent with the change rule of the imaginary part of the dielectric function.

4. Conclusion

In this paper, the structural stability, electrical properties and optical properties of Fe, Sn and Ce co-doped anatase TiO_2 are investigated and compared with those of undoped anatase TiO_2 , and the relevant data of energy band structure, density of states, dielectric function and optical absorption coefficient are obtained by analysis. The results show that the co-doping of two elements of Fe, Sn and Ce can reduce the forbidden bandwidth of TiO_2 compared with that of the pure anatase TiO_2 , but the bandwidth of Sn and Ce is 0.206 eV smaller than that of Sn monodoping, while that of Sn and Fe is 0.56 eV smaller than that of Sn monodoping. Doping of Sn, Ce, Fe and both co-doping can increase the absorption efficiency of anatase TiO_2 system in the visible region and red-shift the absorption spectrum, and the effect of Sn-Ce co-doping is significantly better than that of Sn doping alone. Which shows that the co-doping mode is more favourable than the monodoping mode for the improvement of the visible light responsiveness and the visible photocatalytic activity of TiO_2 .

CRediT authorship contribution statement

Ren Guoxi: Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Software, Writing – original draft, Writing – review & editing. Guan Yongxin: Formal analysis, Writing – original draft, Writing – review.

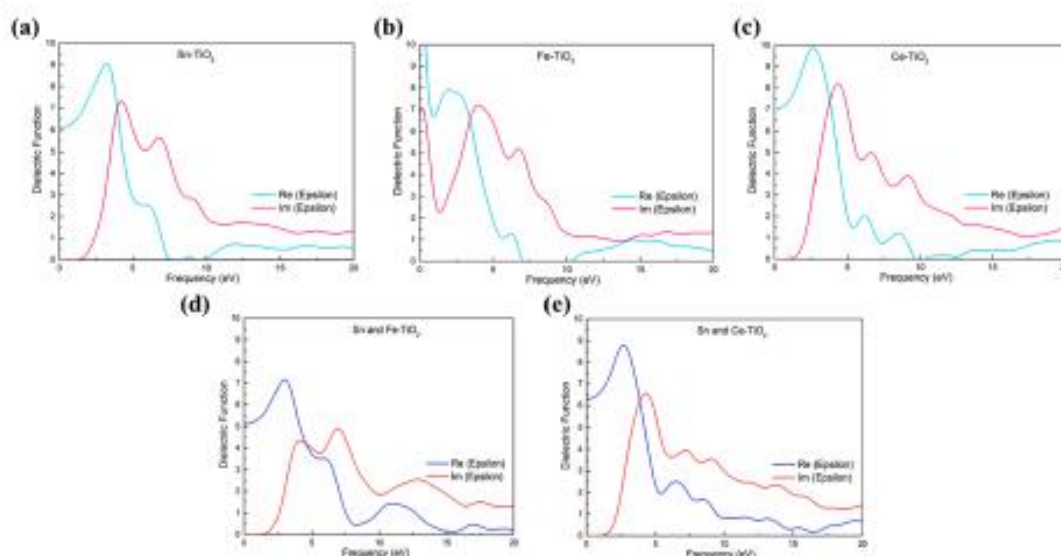


Fig. 4. The dielectric function of Sn, Fe and Ce doped anatase TiO_2 .

(3) Research on a Convolutional Neural Network Method for Modulation Waveform Classification
IAENG International Journal of Computer Science
Computer Science

IAENG International Journal of Computer Science, 50:3, IJCS_50_3_07

Research on a Convolutional Neural Network Method for Modulation Waveform Classification

Ren Guo-Xi

Abstract—Modulated signal recognition is difficult but essential for applications like cognitive radio, intelligent communication, radio supervision, and electronic countermeasure. Current modulation recognition models lack comprehensiveness and typicality of various signals and primarily rely on artificial feature extraction. In this study, a convolutional neural network (CNN)-based method for modulated signal recognition is proposed. The proposed method converts modulation recognition into image identification. To increase the acuity of CNN for learning time-frequency features, channel attention and spatial attention are further introduced based on the fused features. Eight different types of modulated signals, including Rect, LFM, Barker, GFSK, CPFSK, B-FM, DSB-AM, and SSB-AM, are used in the experiments. The recognition rate of the proposed model is greater than 85% when the SNR (signal-to-noise ratio) is greater than -10dB, and it ranges from 92% to 98% when the SNR is 0dB. The recognition rate of the proposed method outperforms the two other comparison methods, CNN without an attention mechanism and LSTM.

Index Terms—modulation recognition, convolutional neural network, feature fusion, attention mechanism, STFT, SPWVD

1. INTRODUCTION

MODULATION recognition is to detect the type of the modulated signal. It has a wide range of practical applications. For cognitive radio, modulation recognition aids sub-users in understanding the detailed signal information of the primary user [1,2]. It is an important part in the overall understanding of the wireless environment. For intelligent communication, modulation recognition can not only reduce the transmission overhead of modulated information but also enable blind demodulation of the signal [3,4]. For radio supervision, modulation recognition is useful in determining whether the signal meets radio management regulations [5,6]. For electronic countermeasure, modulation recognition is a prerequisite for effective implementation of radio jamming and spoofing [7,8].

Modulation recognition algorithms are mainly divided into two categories: maximum likelihood hypothesis testing (MLHT) methods based on decision theory [9,10] and pattern recognition (PR) methods based on feature extraction [11,12]. The MLHT methods employ Bayesian theory of probability and hypothesis testing to perform the modulation recognition. Although the classification results of MLHT methods are optimal in terms of Bayesian estimation, they are computationally intensive and mostly target baseband signals.

However, the signal is a carrier modulated in most application scenarios. As a result, MLHT methods are less widely used and will not be discussed in the subsequent paper. PR methods are widely used in modulation recognition. An evaluation of artificial intelligence algorithms for identifying modulation format was published in literature [13]. Various identification techniques, including k-nearest neighbors (KNN), support-vector machines (SVM), were used. The SVM algorithm achieved the most robust performance based on the experimental results. A simple approach based on photonic reservoir computing was presented in literature [14]. It was used for modulation format identification (MFI) in the field of optical fiber communication. The final simulation results demonstrated that this technique was capable of accurately identifying modulation formats with a precision of 95%. The aforementioned techniques recognize modulations by extracting shallow features, which heavily rely on the experience of researchers. These techniques have a limited range of applications and are difficult to extract accurate features. As a result, the automatic extraction of deep features has become a research hotspot.

Deep learning is trained to create a multi-layer neural network using lots of sample data [15]. It extracts the hidden features of the sample and reduces the difficulty of designing features manually. Convolutional Neural Network (CNN), as a typical deep learning method, has been applied for modulation recognition. CNN was used in literature [16] to identify the eye diagram of signals. The experiment result could achieve 100% recognition rate for four modulated signals in a wide SNR range. Wavelet transformation and STFT were applied to the signal in literature [17]. And manifold learning method was employed to reduce the high dimension and extract the recognition feature. An automatic radar waveform recognition was proposed in literature [18] using Wigner-Ville distribution to extract the features of the original signal. Smoothed pseudo Wigner-Ville distribution and density peaks clustering for blind model estimation were used in literature [19]. The experimental results demonstrated the effectiveness of their proposed methods.

The combination of time-frequency analysis and CNN are a good attempt for modulation recognition [20]. It improves the accuracy and robustness of the recognition model. Different time-frequency analysis methods have their inherent characteristics. Short-time Fourier transform (STFT) is suitable for multicomponent signal analysis. Wigner-Ville distribution (WVD) is a two-dimensional distribution of signal energy in the time-frequency domain. WVD has a good time-frequency cohesiveness. However, WVD is heavily affected by crossing terms and noise. In order to overcome the shortcomings of STFT and WVD, the time-frequency maps of STFT and WVD are fused. The

Manuscript received January 19, 2023; revised May 28, 2023.
Ren Guo-Xi is an associate professor of Pingdingshan Polytechnic College, Pingdingshan, 467003, China (e-mail: 119887419@qq.com).

fused maps are used as the CNN input. Based on this, channel attention and spatial attention are introduced into CNN to learn important information for modulation recognition.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 explains the basic concepts of modulated signals and time-frequency characteristics. Section 3 introduces the CNN. In Section 4, the improved CNN is proposed based on multi-feature fusion and attention mechanism. The experimental results are discussed in Section 5. Finally, the conclusions are given in Section 6.

II. BASICS OF MODULATION RECOGNITION

A. Modulated signal

In this paper, eight commonly used modulation signals are selected for the experiments. There are three radar modulation signals: rectangular (Rect), linear frequency modulation (LFM), and Barker code (Barker). There are also five communication modulation signals: Gaussian frequency shift keying (GFSK), continuous phase frequency shift keying (CPFSK), broadcast frequency modulation (B-FM), double side band amplitude modulation (DSB-AM), and single side band amplitude modulation (SSB-AM). The baseband waveform domain of the signal is as follows:

$$y(t) = \sum_i x_i f(t - iT) + n(t) \quad (1)$$

where $n(t)$ denotes the channel noise, which is usually assumed to be additive Gaussian white noise. $f(t)$ denotes the equivalent filters, such as shaping filter, channel filter, and matched filter. x_i denotes the transmitter symbol sequence.

B. Time-frequency analysis

Currently, the main time-frequency transform methods are short-time Fourier transform (STFT), Wigner-Ville distribution (WVD), pseudo Wigner-Ville distribution (PWVD), smoothed pseudo Wigner-Ville distribution (SPWVD), etc. STFT has low time-frequency resolution but no cross-term effect. Meanwhile WVD has serious cross-term and high time-frequency resolution. PWVD and SPWVD have some suppression effect on cross-term by adding a window function. However, the time-frequency resolution of PWVD and SPWVD decreases significantly compared with WVD.

(1) Short-time Fourier transform (STFT)

Given a window function $g(t)$ with a short time width. Let the window function $g(t)$ slide on the t -axis. Then the STFT of the signal $x(t)$ is defined as follows:

$$STFT(t, f) = \int x(\tau)g(\tau - t)e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (2)$$

where the physical meaning of equation (2) is the Fourier transform of the signal $x(t)$ multiplied by a t -centered analysis window $g(\tau - t)$. $STFT(t, f)$ is a function of both time and frequency.

STFT is a linear representation of the signal. STFT has no interference of cross-terms. It is suitable for multicomponent signal analysis. The resolution performance of STFT depends heavily on the window function and width. The actual signals are generally non-stationary. STFT, on the other hand, assumes that the signal is approximately smooth within the width of the window function. The type of window function

is usually chosen as a low-pass one, such as Gaussian window, Hanning window, etc. The time-frequency aggregation of the window function is also determined once it has been selected. According to the uncertainty principle, the time width and bandwidth of window function cannot be arbitrarily small at the same time. As a result, its aggregation of time and frequency is poor. For non-stationary signals, STFT has no self-interference term. But the aggregation of STFT is poor.

(2) Smoothed pseudo Wigner-Ville distribution (SPWVD)

Wigner-Ville distribution is one of the most basic nonlinear representations. The WVD of the signal $x(t)$ is defined as follows:

$$W(t, f) = \int x^*(t - \frac{\tau}{2})x(t + \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3)$$

WVD has good time-frequency resolution. Set

$$x(t) = x_1(t) + x_2(t) \quad (4)$$

Then the follows can be obtained.

$$\begin{aligned} W(t, w) &= \frac{1}{2\pi} \int x^*(t - \frac{\tau}{2})x(t + \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi w\tau} d\tau \\ &= \frac{1}{2\pi} \int \left[x_1^*(t - \frac{\tau}{2}) + x_2^*(t - \frac{\tau}{2}) \right] \\ &\quad \left[x_1(t + \frac{\tau}{2}) + x_2(t + \frac{\tau}{2}) \right] e^{-j2\pi w\tau} d\tau \\ &= W_{11}(t, w) + W_{22}(t, w) + W_{21}(t, w) + W_{12}(t, w) \end{aligned} \quad (5)$$

where

$$W_{11}(t, w) = \frac{1}{2\pi} \int x_1^*(t - \frac{\tau}{2})x_1(t + \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi w\tau} d\tau \quad (6)$$

$$W_{22}(t, w) = \frac{1}{2\pi} \int x_2^*(t - \frac{\tau}{2})x_2(t + \frac{\tau}{2})e^{-j2\pi w\tau} d\tau \quad (7)$$

$$W_{12}(t, w) = W_{21}^*(t, w) \quad (8)$$

From the above equation, WVD can be regarded as the Fourier transform of the signal time autocorrelation function. Since it is the quadratic time-frequency of the signal, there are serious cross-terms in WVD when performing time-frequency analysis on multiple signals. Many existing time-frequency analysis methods are basically a compromise between multi-portion cross-term suppression and signal time-frequency aggregation. In fact, even for the single component signal, WVD has its own interference term.

Although the WVD and PWVD have strong time-frequency focus, they are both quadratic time-frequency analysis methods. They are vulnerable to the interference of cross-terms. The performance of parameter estimation is seriously affected. Therefore, the SPWVD algorithm is used. The window is added simultaneously in the time-frequency domain, which suppresses the interference of cross-terms. SPWVD is defined as follows:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x(u + \frac{\tau}{2})x^*(u - \frac{\tau}{2})\phi(\tau, v) e^{-j2\pi v(u + \frac{\tau}{2})} du dv d\tau \quad (9)$$

where $\phi(\tau, v)$ is the smoothing function in the time frequency domain.

III. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

CNN is a typical feed-forward neural network. It can be trained to adjust the weights and biases of the neurons. In

recent years, several CNN structures have been developed, such as LeNet, AlexNet and GoogleNet. CNN mainly consists of convolutional layers, pooling layers and fully connected layers.

In the convolution layer, the feature map of the previous layer is convoluted with the convolution kernel. Then the output feature map is formed by the activation function. The process is computed as follows:

$$S_j^l = f\left(\sum_{M \in \mathcal{M}} S_j^{l-1} * w_M^l + b^l\right) \quad (10)$$

where \mathcal{M} is the set of input feature maps, j is the j th layer of the network, S_j^{l-1} is the l th input feature map, w is the corresponding convolution kernel weight matrix, b is the bias matrix, S_j^l is the l th feature map of the j th layer, $f()$ is the activation function, $*$ is the convolution operation.

The Sigmoid function is a nonlinear activation function that is commonly used in neural networks. However, due to its gradient vanishing problem, the ReLU function is commonly used in deep learning models. The mathematical expression is as follows:

$$f(n) = \max(0, n) \quad (11)$$

Using the ReLU function can not only avoid gradient disappearance of back-propagating but also reduce the computational cost of the CNN. The ReLU function can also make the output of some neurons zero, i.e., the network becomes more sparse. As a result, the problem of overfitting is avoided.

The pooling layer can reduce the feature map dimension of the previous layer. Thus, the spatial dimension of the input convolution layer is reduced. The overfitting is effectively controlled. And the computational cost is reduced.

The common pooling functions are maximum pooling and mean pooling. In the maximum pooling, the maximum value of the restricted region is selected as the new feature. In the average pooling, the average value of the same region is calculated as the new feature. The maximum pooling reflects the most significant features. And the average pooling smoothes the region and selects the smoothed features. After $m \times m$ pooling, the number of the feature map is unchanged. But the size is reduced to $1/m$ of the original one.

The feature map matrix is transformed into an one-dimensional feature vector in the fully-connected layer, which is treated as the input of classifier. Its model can be summarized as follows:

$$P = f(k + w_s \cdot f_s) \quad (12)$$

The Softmax function is usually used as the activation function $f()$ in multiclassification problems.

The difference between the predicted value z and the actual value y is obtained by forward propagation. The difference is passed to the CNN model by the Back Propagation (BP) algorithm. The loss function of the model is minimized by adjusting the weights and biases among the network layers. The common type of loss functions is mean-squared error (MSE).

In the process of error back propagation, the gradient descent method is used to update the network parameters. The adaptive parameters w and b are adjusted layer by layer by calculating the derivatives of the MSE. The error in each layer is reduced to a minimum. The calculation method is as follows:

$$\begin{cases} w' = w - \beta \frac{\partial E}{\partial w} \\ b' = b - \beta \frac{\partial E}{\partial b} \end{cases} \quad (13)$$

where w' and b' are the updated weights and biases, w and b are the existing weights and biases, β is the learning rate, which is used to control the step size of the weight update. The network may fall into local optimum if β is too large. On the contrary, the training time of the network may increase if β is too small.

IV. IMPROVED CNN

A. Multi-feature fusion

The modulated signal is passed through STFT and SPWVD respectively. And a STFT feature map and a SPWVD feature map are obtained. The two feature maps are fed into two independent CNNs for feature extraction. The convolutional kernels of different sizes are included in each single-channel CNN, which can extract various modulation pattern features from different images. Then the two feature vectors extracted from each single CNN are stitched together through the fusion layer. A high-dimensional feature vector is formed and fed into the fully connected layer. The single-channel CNN of extracting modulation features can be divided into eight hidden layers. The input layer is STFT feature map or SPWVD feature map. In order to improve the extraction of abstract features and enhance the SNR of the image, five convolutional layers are introduced. Abstract features, such as edge, texture, and shape, are extracted from the sample data by low-level convolution. Then new features are generated by high level convolution for subsequent recognition. To avoid losing the key information in the feature reduction process and to compensate for the lack of image feature invariance, three pooling layers are adopted. The input feature map is divided into several non-overlapping matrices. The maximum value of each matrix region is output. The computational complexity of the feature map is reduced, as is the data size. As a result, good displacement robustness is obtained by the features. To reduce the possibility of gradient disappearance, five normalization layers and ReLU activation layers are introduced in these eight hidden layers. Finally, the features of the last pooling layer are extracted to complete the subsequent feature fusion work.

To make full use of the different channel information, the features extracted from two independent CNNs are fused. The commonly used feature fusion methods are superposition fusion and vector stitching. The vector stitching method is used in this study. Suppose the existing feature vectors are $v_1 \in R^m$ and $v_2 \in R^m$, which are stitched in the same dimension. The final fused feature vector is $v = [v_1 + v_2] \in R^{2m}$.

The feature fusion strategy can not only improve the feature representation but also avoid the negative impact of redundant feature on the information. As a result, the feature description of the modulated signal is rich and comprehensive.

B. Attention mechanism

With the increasing application of deep learning in image

classification, the attention mechanism is increasingly used to optimize the deep network structure. It is more like the way the human eye sees things. It allows the network to learn in a more focused way and improves the network learning ability. Similar to human observation, the network learns in a more focused way. Attention mechanism usually includes channel attention (CA) and spatial attention (SA).

For a given feature map X with $L \times H \times W \times C$, L , H and W represent the spatial dimension of the feature map, while C represents the number of channels. The principle of CA is shown in equations (14) to (16).

$$C_u = FC(\text{ReLU}(FC(\text{MaxPooling}(X)))) \quad (14)$$

$$C_s = FC(\delta(FC(\text{AvgPooling}(X)))) \quad (15)$$

$$X_c = \text{Sigmoid}(C_u + C_s)X \quad (16)$$

where $\text{MaxPooling}()$ and $\text{AvgPooling}()$ represent global maximum pooling and global average pooling in the spatial direction, respectively. $\text{ReLU}()$ and $\text{Sigmoid}()$ are the activation functions. $FC()$ is the fully connected layer.

For a given feature map X with $L \times H \times W \times C$, the principle of SA is shown in equations (17) to (19).

$$S_u = \text{MaxPooling}(X) \quad (17)$$

$$S_s = \text{AvgPooling}(X) \quad (18)$$

$$X_s = \text{Sigmoid}(\text{Conv}(\text{Concat}(S_u, S_s))) \quad (19)$$

CA can be treated as channel weight. Channels containing important information are weighted heavily, while channels containing unimportant information are weighted less. The CA feature vector is input to each channel of the input image in the form of a broadcast. The CA feature map of the output is obtained. The important features of the channel and spatial can be focused on using CA and SA separately. And the unimportant features are filtered out. The attention mechanism is inserted in each convolutional block shown in Figure 1. The CA is first used to emphasize what the feature is, according to the intuitive interpretation. The SA is then used to emphasize the location of the feature.

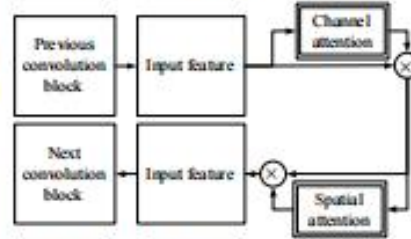


Fig. 1. Attention mechanism flow

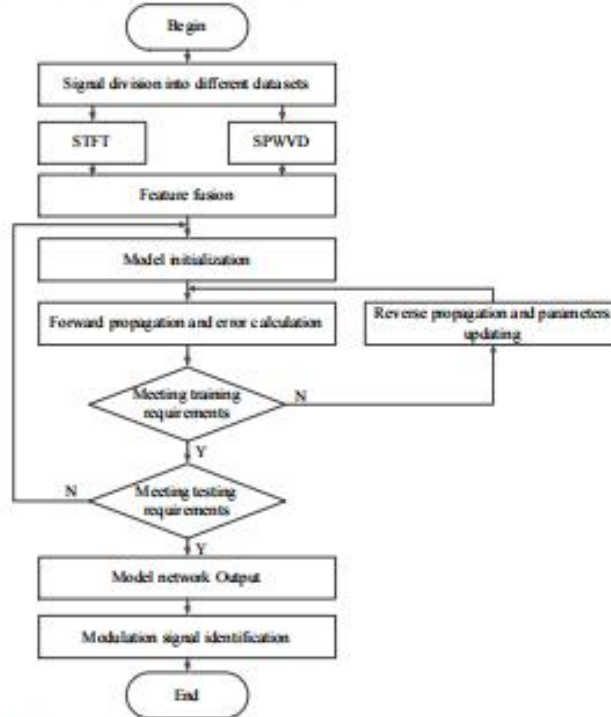


Fig. 2. Modulation recognition flow

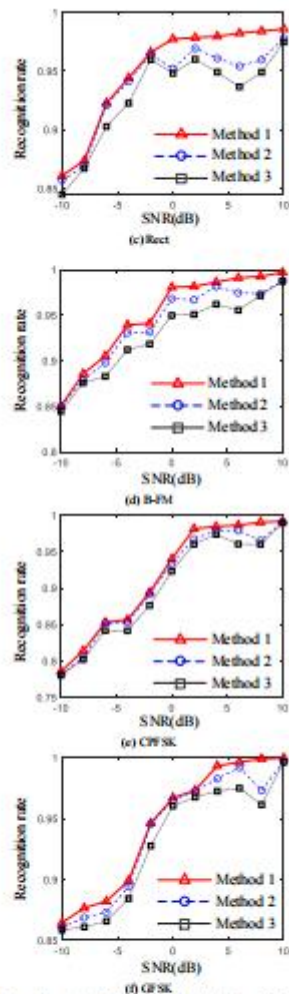


Fig. 6. Recognition rate of different methods under different SNR

VI. CONCLUSION

A modulation recognition model based on convolutional neural network is proposed in this paper. The modulated signal recognition problem is transformed into an image recognition problem by time-frequency map of modulated signals. The STFT and WVD based time-frequency maps are

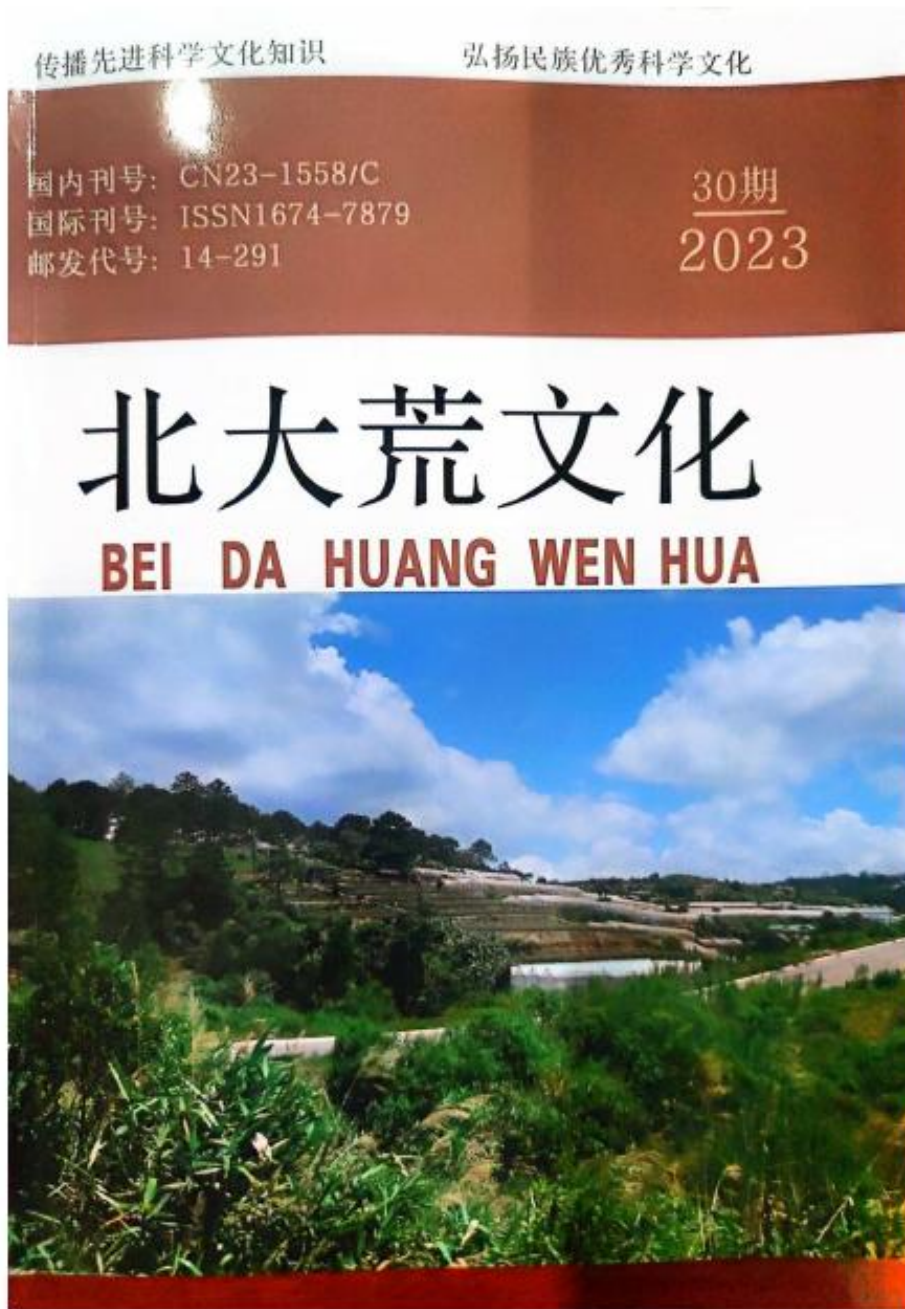
fused using vector stitching. The proposed model introduces an attention mechanism to optimize the selection of different channels for the same feature map. All the spatial locations of the same feature map are reassigned to improve the learning ability. The experimental results show that the proposed model has a high recognition rate for eight modulated signals, namely Rect, LFM, Barker, GFSK, CPFSK, B-FM, DSB-AM and SSB-AM, under the condition of low SNR. The proposed model can lay a solid foundation for the subsequent signal baseband data demodulation and network slicing.

REFERENCES

- [1] Wang Y, Hou Y, Zhang H, "Deep Learning Based Modulation Recognition with Multi-Cue Fusion," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 8, pp1757-1760, 2021.
- [2] Xu Z, Petrucci J, Tonello A, "Identification of Communication Signals using Learning Approaches for Cognitive Radio Applications," *IEEE Access*, vol. 8, no. 1, pp128930-128941, 2020.
- [3] Manry M, Mostafa H, Alshelbi S A, "Blind Modulation Identification Algorithm for Two-Path Space-Time Relaying Systems," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 11, pp2369-2373, 2021.
- [4] Jiang X, Hao M, Yan L, "Blind and Low-complexity Modulation Format Identification based on Signal Envelope Features for Autonomous Digital Coherent Receivers," *Applied Optics*, vol. 61, no. 20, pp5991-5997, 2022.
- [5] Ahn S, "Implementation of a Noncoherent Signaling System through Software-Defined Radio," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 2, pp1-6, 2022.
- [6] Yang L, Xu H, Bai C, "Joint Modulation Format Identification and CNR Estimation Method based on Trajectory Information Analysis," *Optics Communications*, vol. 507, no. 5, pp1-5, 2022.
- [7] Zou C, Yu C, Guo L, "Improving Robustness and Defense with Signal Augmentation for Modulation Identification," *Journal of Physics Conference Series*, vol. 1616, pp012111, 2020.
- [8] Wang Y, Zhang H, Xu L, "Adoption of Hybrid Time Series Neural Network in the Underwater Acoustic Signal Modulation Identification," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 357, no. 18, pp13906-13922, 2020.
- [9] Liang W, Shuang X H, "Research on Maximum-Likelihood Modulation Identification Algorithms for OFDM Systems," *Journal of Jinyang Normal University (Natural Science Edition)*, vol. 29, no. 04, pp1-3, 2016.
- [10] Shi Q, "Automatic Modulation Identification Based on the Probability Density Function of Signal Phase," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 60, no. 4, pp1035-1044, 2012.
- [11] Wu J, Lin J, Tian B, "A Signal Modulation Identification Method Based on Neural Network," *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications*, 2020.
- [12] Wang Y, Zhang H, Xu L, "Adoption of Hybrid Time Series Neural Network in the Underwater Acoustic Signal Modulation Identification," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 357, no. 18, pp13906-13922, 2020.
- [13] Sozen A, Satici U, BHD Cruz J, "Artificial Intelligence Techniques Evaluation for Modulation Format Identification in Optical Networks," *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electro-magnetic Applications*, vol. 20, no. 4, pp1-3, 2021.
- [14] Cui Q, Guo Y, Li P, "Modulation Format Identification in Fiber Communications using a Single Dynamical Node based Artificial Neural Network," *Photonics Research*, vol. 9, no. 1, pp1-3, 2020.
- [15] Sim Kok Siew, Lim Choon Chern, Tan Shing Cheung, and Tan Chean Khern, "Deep Convolutional Neural Network for SEM Image Noise Variance Classification," *Engineering Letters*, vol. 31, no. 1, pp328-337, 2023.
- [16] WANG D S, ZHANG M, LI J, "Modulation Format Recognition and CNR Estimation using CNN-based Deep Learning," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 29, no. 19, pp1667-1670, 2017.
- [17] Li Q, Feng B, Yan L, "Identifying of Digital Signals Based on Manifold Learning," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 9, no. 2, pp127-134, 2016.
- [18] Nishchayee N J, Moncho-Cayamela M E, Lim W, "Automatic Radar Waveform Recognition using the Wigner-Ville distribution and AlexNet-SVM," *The ACS 2020 Summer Conference*, 2020.

(4) 需求导向与协同创新：煤矿智能开采技术领域产教融合共同体的建设路径与效能研究 ， 中国高等教育

(5) 高质量产业学院建设模式研究与实践，北大荒文化



国内刊号: CN23-1555/C
 邮发代号: 15-52/1874-1678
 邮发代号: 14-12-11

北大荒文化



北大荒文化
 BEI DA HUANG WEN HUA



主 管: 黑龙江省农垦总局
 主 办: 农垦日报社
 编辑出版: 《北大荒文化》杂志社
 国内刊号: CN23-1555/C
 国际刊号: ISSN 0794-7879
 邮发代号: 14-201
 社 长: 李学斌
 主 编: 周华平
 执行主编: 郑志刚
 副 主 编: 赵正方
 编 辑: 隋文明 王仁山 庄 岩
 吴志豪 赵定方 李 虎
 美术编辑: 王文正

邮 箱: bdwhzsa@163.com
 邮 箱: bdwhzsa@126.com
 电 话: 0451-55883666
 地 址: 哈尔滨市南岗区红岗大街210号
 邮 编: 150096
 定 价: 8.00元
 出版日期: 每月10号、20号、30号

声明

本刊作者发表的文章仅代表作者个人观点, 与本刊立场无关。作者须保证作品的原创性, 不得抄袭、剽窃, 不得一稿多投。稿件凡经本刊使用, 即视作者同意授权本刊其作品的精修或转售, 但不限于纸质网络电子版精修或转售以及无线增值业务的权益。本刊支付的稿酬已包括上述杂志精修或转售方式的稿酬。

目 录

文史在线

- 1 音乐家赵梅的传记研究 曹慧婷
- 2 评王宇初《送礼周公——音乐考古与西周史》——兼谈音乐考古在中国音乐史研究中的作用 叶林霞
- 3 明清时期绣球花题材的发展——以江南地区为例 曹靖华
- 4 国家文化遗产保护利用的实践路径——以甘肃为例 买小英
- 5 除夕守岁来历考 刘忠良 罗 萍
- 6 清代盛京地区庄头管理研究 杨振威
- 7 基层非遗保护中心如何做好当地非物质文化遗产的保护与传承关键分析 巴合提古丽·珠曼
- 8 关于《吴南岩新县吏史供知县取刑案》的分析 李宗哲
- 9 非物质文化遗产传承的发展潜力: 与现代摇滚乐相结合为例 梁一旭
- 10 十年磨校流沙简, 《平复》无惊署墨皇——陆机《平复帖》 王 蕊
- 11 略述红河彝族刺绣传承发展中存在的问题及对策 王东方
- 12 清代正当防卫中的“夜无故人人家”条试释 王诗雨
- 13 中国古代死刑执行时间初探 邓志雅
- 14 二七红色文化的数字传承转化路径研究 张琳琳 温逸霖
- 16 论中国古代法律的儒家化 张 芮
- 18 探索辽北游牧民族与周边游牧文明的关系 拉布格桑
- 20 华之凤与贵州教育近代化转型探析 杨 新
- 22 更多钢琴的艺术发展史、艺术家、作品述要 郭珊珊
- 24 陶泥牙舟神韵——贵州平塘牙舟陶的活态传承与创新推广 甘合周 罗丽华 叶 位

教育探讨

- 26 高校广播电视编导专业《视听语言》课程教学思考与研究 朱 娟
- 27 在中国式职业教育改革中坚定培养担当民族复兴大任的外贸新人 夏青海 孟祥年
- 29 浅谈任务驱动法在民航旅客运输课中的应用 姜春燕 钟舒婷 杨钟岳 王晨晨
- 30 技工院校课堂企业文化的融入和培育 崔元刚
- 32 如何提高少儿业余体操训练兴趣 李 健
- 33 大学生创新创业能力培养的现状及对策 李迎春
- 35 新时期国家公派留学挑战及对留学工作的思考 梁 平
- 36 多媒体时代高校书法教学改革研究——以河北美术学院为例 王冰蕊
- 38 互动式教学在高职美术教育中的应用与探索 罗季军
- 39 浅析农村初中理科教学现状 罗建强
- 41 西部民族地区旅游管理职教师资专业全校多元协同育人模式研究 段文革 李 达
- 43 Linux 课程设置与课程改革探讨 隋永平 王 蕾 周 山 黄艺美 郭庆北
- 45 高校体育教育专业学生专项选报动机调查研究——以江西师范大学体育学院2016级为例 徐 闯
- 46 课程思政融入高职英语求职信写作教学设计探索 董 娟
- 48 高职信息技术课教学实践探索 王 勇 吴俊超
- 49 智能时代大学生网络思想素养提升路径研究 衣火五牛
- 50 对民办院校转学生进行思政教育的策略研究——以A同学为例 刘湘香
- 51 基于核心素养培育的高中英语阅读教学路径研究 张友琳

高质量产业学院建设模式研究与实践

张立方 高争

河南工业职业技术学院

摘要: 高质量产业学院的建设模式是当今职业教育中备受关注的议题。本研究旨在探讨如何构建适应产业需求的高质量产业学院,以满足不断发展的经济和社会要求。文章首先阐述了产业需求驱动下,如何完成学院建设模式的研究与实践。通过对国内外优秀案例的剖析,介绍了学院建设模式的研究与实践。最后,总结了构建适应产业需求的高质量产业学院的关键要素,包括产业对接、教育创新、师资队伍建设、实践教学与综合能力的培养等。文章还探讨了构建适应产业需求的高质量产业学院面临的挑战,以及应对策略,包括深化产教融合、加强校企合作、提升教师素质等。文章旨在为构建适应产业需求的高质量产业学院提供有益启示。

关键词: 高质量产业学院、产业需求、建设模式、实践经验、挑战应对

引言

随着时代的发展,教育不再是一个与产业脱节的独立体系,而是与产业需求密切相关的重要环节。高质量产业学院的建设成为满足不断发展的经济和社会要求的迫切需求,这一问题引发了广泛的讨论和研究。如何建设符合产业需求的高质量产业学院成为教育界的研究与实践热点。在这个背景下,本文将探讨高质量产业学院建设模式的研究与实践,旨在为产业与教育的更紧密结合提供有力支持。

一、产业需求驱动的学院建设模式

随着社会经济不断发展和科技创新的加速推进,高等教育面临着新的挑战 and 机遇。为了更好地满足产业需求,建设与之紧密结合的高质量产业学院成为了当今教育领域的关键课题。本文将详细介绍产业需求驱动的学院建设模式,探讨如何构建适应不同产业需求的学院,以培养适应未来社会需要的高素质人才。

1. 产业需求的多样性与复杂性

要理解产业需求的多样性与复杂性,不同行业、不同领域的产业都有各自独特的需求,包括技能要求、人才结构、创新需求等。因此,学院建设模式需要根据具体产业的特点进行定制化设计,以确保教育内容与产业需求相匹配。

2. 产业对接与合作机制

在产业需求驱动的学院建设中,建立产业对接与合作机制至关重要。学院应积极与相关产业建立合作关系,包括企业合作、科研合作、实习实训基地建设等。这有助于学生接触真实的产业环境,增强他们的实践能力,并使教育更加贴近实际。

3. 课程体系的灵活性

传统的教育课程体系可能无法适应快速变化的产业需求。因此,建设产业需求驱动的学院需要具备课程体系的灵活性。教育机构应不断更新课程内容,引入最新的知识和技术,确保学生能够掌握最具竞争力的技能。

4. 师资队伍的培养与更新

高质量产业学院需要拥有高水平的师资队伍。因此,培养和更新师资队伍至关重要。学院可以建立师资培训计划,使教师不断提升专业水平,并鼓励他们积极参与产业研究,保持与产业的密切联系。

5. 学科交叉与跨界合作

在满足产业需求的过程中,学院建设模式需要注重学科交叉与跨界合作。不同学科之间的融合可以促进创新和跨领域的思维,培养更具综合素养的人才。同时,与其他学术机构、研究中心的合作也有助于解决复杂问题。

6. 实践教育与综合能力的培养

最后,产业需求驱动的学院建设模式应重视实践教育和综合能力的培养。学生需要通过实际项目、实习经验等方式将理论知识应用到实际中,并培养创新、团队协作、解决问题等综合能力,以满足未来产业的要求。

二、实践经验与挑战应对

在构建产业需求驱动的高质量产业学院的过程中,实践经验和挑战应对至关重要。本文将详细介绍一些成功的实践经验,并探讨可能出现的挑战以及应对策略,以帮助学院更好地适应产业需求。

培养高素质人才,

1. 实践经验

1.1 产业导向的项目学习

一项成功的实践经验是引入产业导向的项目学习。学院可以与企业合作,开展实际项目,让学生参与其中。通过实践项目,学生可以将理论知识应用到实际工作中,培养解决问题的能力和团队合作精神。这种实践经验不仅有助于学生的职业发展,还加强了学院与产业之间的联系。

1.2 实践导向的教育创新

教育创新也是一项关键实践经验。学院不断更新教育方法,采用新技术和教学工具,以提高教学质量。同时,实践教学教育创新也包括了跨学科合作和综合素养培养,培养学生更广泛的能力。

1.3 师资队伍的专业发展

建设高质量产业学院需要具备高水平的师资队伍。因此,师资队伍的专业发展是一个成功的实践经验。学院可以提供教师培训,鼓励教师积极参与产业研究,并建立与产业专家的联系,有助于保持教师的专业素养与产业需求的同步。

2. 挑战与应对策略

2.1 教育资源不足

一项主要挑战是教育资源的不足。建设高质量产业学院需要大量的教育资源,包括教室、实验室、图书馆等。应对策略包括寻求更多的资金支持,与产业建立共建共享的资源合作机制,以提高资源利用效率。

2.2 与产业合作的复杂性

产业合作可能面临复杂的管理和协调问题。学院需要建立合作框架和机制,明确合作的目标和责任,确保合作能够顺利进行。同时,需要不断调整合作策略,以适应产业发展的变化。

2.3 教师的专业发展压力

教师的专业发展压力也是一个挑战。应对策略包括为教师提供更多的专业发展机会和资源,鼓励他们参与产业研究和实践,建立教师互助和分享经验的机制,减轻教师的工作负担。

2.4 教育改革的阻力

教育改革常常会遇到阻力和反对意见。学院需要积极沟通,与教职工、学生和其他相关利益方进行对话,解决争议,推动改革的顺利进行。同时,要建立有效的改革监督和评估机制,确保改革的有效性。

实践经验和挑战应对是建设产业需求驱动的高质量产业学院中不可或缺的重要组成部分。通过积极的实践经验,学院可以提升教育质量,培养更具竞争力的人才。同时,应对挑战需要创造性的策略和机制,以确保学院能够克服障碍,实现教育目标,并为产业的可持续发展做出贡献。

结语

高质量产业学院的建设模式研究与实践不仅是教育领域的议题,更是适应产业需求、培养高素质人才的关键一步。通过深化研究与实践,我们可以更好地应对产业发展的需求,为教育的未来提供有益的启示和方向。高质量产业学院的建设,将重塑产业与教育的生态,实现可持续发展的目标。

参考文献:

- [1] 张方, 高质量产业学院建设模式研究[J]. 教育研究, 2020(1): 78-86.
- [2] 王德, 产业需求与高等教育改革的关系研究[J]. 高等教育研究, 2019(3): 42-51.
- [3] 李明, 产业导向的实践教育模式探究[J]. 现代教育管理, 2021(2): 64-72.

河南省职业教育教学改革研究与实践项目, 聚焦产业需求重塑生态: 高质量产业学院建设模式研究与实践, 豫教[2023]028

(6) Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ 陶瓷材料的热物理性能, 中国陶瓷

ISSN 1001-9642
CN 36-1080/TO

中国陶瓷®

2024年
第4期
第60卷 (总425期)

CHINA CERAMICS

中文核心期刊 中国轻工业陶瓷研究所主办 1959年创刊

传承陶瓷艺术
发展材料科技

江苏拜富科技股份有限公司
www.baifutech.com

地址: 江苏省宜兴市丁蜀镇陶都工业园 传真: 0510-87432286 邮箱: baifu@baifutech.com
市场部电话: 0510-87432616 87432286 外贸公司电话: 0510-87432908 办公室电话: 0510-87432288

江苏: 13906154085	浙江: 13806157733	江西: 13806158639	湖南: 13806158623	山西: 13806158636
广东: 13806156096	佛山: 13806158679	河南: 13806158635	福建: 15961560650	赣州: 13806158673
重庆: 13806158683	夹江: 13806158873	安徽: 13806158662	山东: 13906154085	河北: 13806158892
宜兴: 13806158602、13806158662、13915387177				

目次

- ◆ 先进陶瓷
- 1 核壳型碳化硅/石墨烯纳米材料的研究进展 刘欢, 孙文周, 李茂辉
- 9 氧化锆-堇青石复相涂层对氧化铝基体影响的研究 卜晓雪, 厉冰心, 曹大可, 吴吴龙, 赵海洋
- 17 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 陶瓷材料的热物理性能 刘保福, 朱金矿
- 23 Nd_2O_3 对 $(\text{Zr}_{0.8}, \text{Sn}_{0.2})\text{TiO}_4$ 微波介质陶瓷结构和性能影响 江俊俊, 赵杨军, 刘杨琼, 黎志刚
- 29 厚度对等离子喷涂 HA 涂层耐磨性能的影响研究
..... 何雨星, 杜今文, 曹龄之, 龚健平, 马茜茜, 李良锋, 薛冰, 高鹏飞
- 37 用于能量收集器的 PMnN-PZT 压电陶瓷 张浪, 石棋, 张优, 谢义磊, 董皓天, 洪顺球
- ◆ 建筑卫生陶瓷
- 42 基于专利维度全球陶瓷墨水技术发展态势研究 徐笑阳, 贝汶瑜, 王瑶, 杨雅茹, 罗智华, 劳新斌
- 50 蓝色离子型陶瓷墨水的制备及其发色机理的探究 江超, 余开明, 张优, 余少华
- ◆ 日用陶瓷
- 57 铋基环保无机颜料研究进展 温都苏
- 65 水解法制备氧化硅包覆钒酸铋黄色颜料及其表征 朱虹霖, 王竹梅, 李月明
- ◆ 艺术陶瓷
- 75 当代花鸟画艺术光影表现研究—以 2021 景德镇国际陶瓷艺术双年展作品为例 彭刘赞
- 79 西夏瓷质扁壶的设计源流 杨茗皓, 江政丰
- 89 唐代长沙窑动物纹样的表现与特征研究 杨静雅, 吕金泉
- 99 欧洲大型郁金香花瓶的中国塔起源 张康, 李雅谦
- 106 物象与意象: 渝东南少数民族土陶图式分类阐述—以石鸡坨土陶为例 方梦琪
- ◆ 收藏与鉴赏
1. 刘为宇 (P71), 2. 黄拯 (P72), 3. 王烁 (P73), 4. 余雅婷 (P74)

期刊基本参数: CN 36-1090/TQ*1959*m*16*110*zh*P*¥20.00*900*15*2024-04

CHINA CERAMICS (MONTHLY)

Edited by CHINA CERAMICS Editorial Department
(No. 556, Xinchang West Road, Jingdezhen, 333000, People's Republic of China)
Editor in Chief, Li Chuan
Overseas Distributor: China International Book Trading Corporation
(35 Chegongzhuang Xilu, Haidian District, Beijing, China)

Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ 陶瓷材料的热物理性能

刘保福, 朱全矿

(平顶山工业职业技术学院, 资源开发学院, 平顶山 467000)

摘要 以高纯度 Al₂O₃、Y₂O₃、Sm₂O₃ 和 Ta₂O₅ 为原材料, 采用高温烧结方法制备了 Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ 系列陶瓷材料, 对其晶体结构、显微组织、元素组成、热导率和热膨胀性能进行了系统研究。结果表明, 除 Sm₂Y_{0.3}Al_{0.7}TaO₇ 具有萤石结构之外, 其余三种氧化物均具有单一的萤石晶体结构。其块体材料相对致密度均在 90% 以上, 晶界清晰, 各元素摩尔比与其化学式基本一致。由于 Al³⁺ 和 Y³⁺ 之间较大的离子半径和原子量差别, 增大了对声子的散射, 其热导率性能随着 Al₂O₃ 含量的增加而降低。虽然 Al₂O₃ 含量增加降低了其热膨胀系数, 其大小与 YSZ 基本相当。所制备陶瓷在室温至 1400 °C 范围内具有良好的相稳定性。

关键词 高温热防护涂层; 稀土钽氧化物; 热导率; 热膨胀系数

中图分类号 TQ174.75

文献标志码: A

文章编号: 1001-9642(2024)04-0017-06

Thermophysical Properties of Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ Ceramics

LIU Bao-fu, ZHU Jin-kuang

(School of Resource Development, Pingdingshan Polytechnic College, Pingdingshan 467000, China)

Abstract The high-purity Al₂O₃, Y₂O₃, Sm₂O₃ and Ta₂O₅ were utilized as raw materials to prepare the Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ series ceramic materials through a high-temperature sintering method. Their crystal structure, microstructure, elemental composition, thermal conductivity, and thermal expansion properties were systematically studied. The results indicate that except for Sm₂Y_{0.3}Al_{0.7}TaO₇, which has a pyrochlore structure, the other three oxides exhibit a single fluorite crystal structure. The relative density of the obtained dense samples exceeded 90%, displaying clear grain boundaries, and the molar ratios of elements were consistent with their chemistry formulas. Because of the large disparities in ionic radius and atomic weight between Al³⁺ and Y³⁺, phonon scattering is amplified; nevertheless, as the Al₂O₃ concentration increases, the thermal conductivity of Sm₂Y_{1-x}Al_xTaO₇ falls. Although an increase in Al₂O₃ concentration reduces the thermal expansion coefficient, the value remains equivalent to YSZ. Additionally, the prepared ceramics exhibit excellent phase stability at the temperature range from room temperature to 1400 °C.

Keywords High-temperature thermal-protection coating; Rare-earth tantalum oxide; Thermal conductivity; Thermal expansion coefficient

0 引言

随着先进涡轮航空发动机燃烧室服役温度日益提升及环境的持续苛刻, 对先进涡轮发动机燃烧室内部关键热端部件表面热防护能力要求逐渐提高^[1]。从目

前的文献报道可知, 未来发动机燃烧室服役温度要超过 1500 °C。在这样高的温度下, 现役的 Y₂O₃ 部分稳定 ZrO₂ (简称 YSZ) 热障涂层, 由于 ZrO₂ 所固有的相变以及高温烧结收缩严重等缺点, 很难在 1200 °C 以

收稿日期: 2023-05-09

上长期服役^[2, 3]。所以,开发具有良好隔热性能(热导率小于 $2\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)、与基体结合良好(热膨胀系数大于 $9\times 10^{-6}/\text{K}$)及良好高温晶格稳定性的新型氧化物,以取代主流的YSZ,就显得十分重要,也是克服YSZ热障涂层缺点的最佳途径^[4, 5]。

在已经报道的新型热障涂层用陶瓷材料中,化学式为 $\text{RE}^{3+}_2\text{B}_1^{3+}\text{TaO}_5$ (RE代表三价稀土元素,B代表三价金属离子)已经逐步引起学者的关注。如 $\text{La}_2\text{AlTaO}_5$,具有良好的热绝缘性能和良好的高温相稳定性能,但对应高温热防护涂层的抗热冲击性能较低^[6]。 $\text{RE}_2\text{FeTaO}_5$ (RE=Y, Eu, Gd, Dy)陶瓷材料的热膨胀系数与 $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 基本相当,而其热导率在 $1.5\sim 2.8\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间,同时这几种氧化物具有较高的硬度和断裂韧性^[7]。 $1200\text{ }^\circ\text{C}$ 下的 $\text{Sm}_2\text{LaTaO}_5$ 和 $\text{Gd}_2\text{LaTaO}_5$ 的热导率约为 $0.93\sim 1.01\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,其热膨胀系数分别为 $10.47\times 10^{-6}/\text{K}$ 和 $10.36\times 10^{-6}/\text{K}$ ^[8]。 $\text{RE}_2\text{CrTaO}_5$ (Y, Dy, Yb)氧化物的热膨胀系数在 $9.3\times 10^{-6}\sim 10.8\times 10^{-6}/\text{K}$ 之间,其热导率在 $1.005\sim 0.868\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间^[9]。随着 Yb_2O_3 含量的增加, $\text{Nd}_2\text{AlTaO}_5$ 逐渐由钨美铝钠石结构转变为焦绿石结构,其良好的隔热性能主要归因于氧空位引起的声子散射^[10]。这些研究实例充分表明,该类氧化物的热物理性能确实能满足热障涂层的需求。然而,该类氧化物热物理性能的研究依然处于初级阶段,元素掺杂取代 B^{3+} 离子对该类氧化物热导率和热膨胀等性能的影响报道较少。

以 Sm_2YTaO_5 为基础,用 Al^{3+} 部分取代其中的 Y^{3+} ,形成 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_5$ 系列固溶体。采用高温固相反应法制备相应的致密块体材料,对其显微组织、晶体结构、热导率、热膨胀性能等进行了研究。

1 材料表征及性能分析

以高纯度的 Al_2O_3 、 Sm_2O_3 、 Y_2O_3 和 Ta_2O_5 为原材料,采用高温固相反应法制备 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_5$ 系列氧化物。首先将选取的原材料在 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 下热处理 2 h ,以除去原材料粉末所吸附的水蒸气或 CO_2 。而后根据配平的化学反应方程式精确计算所需要的每一种原材料的质量,并依据计算结果用万分之一分析天平准确称量每一种原材料粉体。称取的原始粉末在玛瑙研钵中经充分研磨后人工过筛,用金属模具在陶瓷粉末压机上压制成预制坯体,其中坯体分 $\Phi 12.7\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 和 $5\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 14\text{ mm}$ 两种类型。采用高温烧结法将压制坯体在 $1600\text{ }^\circ\text{C}$ 下常压热处理 600 min ,从而获得块体样品。

合成致密块体样品的晶体结构用X射线衍射仪

(XRD, D8 Advance, German)分析,样品的显微形貌用扫描电子显微镜(SEM, Sigma 500, Zeiss, Germany)观察,并用电子能谱仪分析样品的元素构成。用阿基米德排水法测试块体的真实密度(ρ),根据纽曼-科普定律计算合成氧化物的比热(C_p)^[11],用激光脉冲法(LFA 427, Netzsch, Germany)测试样品的热扩散系数(λ),根据方程(1)计算获得样品的热导率(k),用方程(2)最终得到样品的本征热导率(k_0),其中公式(2)中的 ϕ 为样品的气孔率,用于排除样品中的气孔含量对热导率的影响^[12]。用高温热膨胀仪(STA449F3, Netzsch, Germany)研究样品的热膨胀性能,升温速度为 $10\text{ K}/\text{min}$,测试过程中用惰性气体保护。

$$k = C_p \times \rho \times \lambda \quad (1)$$

$$\frac{k}{k_0} = 1 - \frac{4}{3}\phi \quad (2)$$

2 结果与讨论

2.1 相组成

图1是合成 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_5$ 系列氧化物的XRD图谱。很明显,每个氧化物的XRD结果均有8个比较明显的衍射峰,而且在 2θ 角为 $35^\circ\sim 50^\circ$ 范围内均不存在两个微弱的衍射峰。化学式为 $\text{RE}_2^{3+}\text{B}_1^{3+}\text{TaO}_5$ 的氧化物也属于 $\text{A}_2^{3+}\text{B}_2^{4+}\text{O}_5$ 的范畴,而 $\text{A}_2^{3+}\text{B}_2^{4+}\text{O}_5$ 主要呈现焦绿石和萤石两种晶体结构,而在 2θ 角为 $35^\circ\sim 50^\circ$ 范围内存在两个比较微弱的衍射峰是焦绿石晶格的典型标志^[10, 13]。但对于 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_5$ 而言,在 2θ 角为 14.5° 和 28.8° 的地方,存在两个超晶格衍射峰,这也是焦绿石结构的标志。因而,除 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_5$ 具有焦绿石晶格之外(如图1中字母P所指),所合成

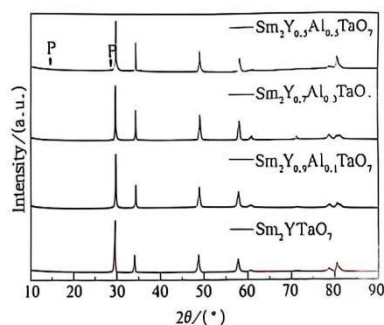


图1 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_5$ 的XRD图谱
Fig.1 XRD patterns of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_5$.

的其余 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 系列氧化物具有单一的萤石晶体结构。

对于 $\text{RE}_2^{3+}\text{B}_1^{3+}\text{TaO}_7$ 的氧化物,其晶体结构也可以仿照 $\text{A}_2^{3+}\text{B}_2^{4+}\text{O}_7$ 离子半径比进行定性判断其晶体结构类型。对于 $\text{A}_2^{3+}\text{B}_2^{4+}\text{O}_7$ 氧化物,一般认为其 A 位与 B 位离子半径比 R_A/R_B 小于 1.46 大于 1.38 时容易形成稳定的焦绿石结构,而小于 1.38 时倾向于形成缺陷萤石结构^[14,15]。对于 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 系列氧化物,其离子半径比可以通过公式(3)予以估算,其中 $r(\text{Sm}^{3+})$ 、 $r(\text{Y}^{3+})$ 、 $r(\text{Al}^{3+})$ 和 $r(\text{Ta}^{5+})$ 分别代表 Sm^{3+} 、 Y^{3+} 、 Al^{3+} 和 Ta^{5+} 的有效离子半径。计算表明,该系列氧化物的离子半径比依次为 1.27($x=0$)、1.31($x=0.1$)、1.39($x=0.3$) 和 1.48($x=0.5$)。很明显, $x=0.5$ 的氧化物 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_7$ 倾向于形成焦绿石结构,其余则易于形成萤石晶体结构,这与氧化物的 XRD 图谱分析结果一致。

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{2r(\text{Sm}^{3+})}{xr(\text{Al}^{3+}) + (1-x)r(\text{Y}^{3+}) + r(\text{Ta}^{5+})} \quad (3)$$

2.2 显微组织与元素组成

图 2 是 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 块体样品的显微形貌照片。很明显,合成氧化物致密块体的显微形貌比较相似,其中 Sm_2YTaO_7 和 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{TaO}_7$ 的晶粒尺寸

相差比较大,其较大晶粒尺寸约为 4~5 μm ,较小的晶粒尺寸约为 1~3 μm ,而 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{TaO}_7$ 和 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_7$ 的晶粒尺寸相对比较均匀,大小约为 1~3 μm ,这表明 Al^{3+} 的引入有利于晶粒大小的均匀化。由图 2 还可以看出,各个氧化物的晶界比较洁净,无第二相或未反应物存在。而且其显微组织比较致密,计算表明,其相对致密度分别是 Sm_2YTaO_7 (92.2%)、 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{TaO}_7$ (93.3%)、 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{TaO}_7$ (92.6%) 和 $\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_7$ (94.3%),即其相对致密度均在 90% 以上。

图 3 是 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 系列氧化物的 EDS 能谱图,其分析时取的是整个显微视窗范围。由图可知,四种氧化物的元素组成与各自的化学式完全一致,表 1 是四种氧化物各元素之间的摩尔比。由表可知,四种氧化物各组成元素之间的摩尔比与各自的化学式基本接近,表明在合成过程中,无元素损失现象,各种氧化物均成功合成。

表 1 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 固溶体的元素原子比
Tab.1 Atomic ratios of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ solid solutions

化学式	Sm	Y	Al	Ta	O
$x=0$	21.3	8.4	0	10.8	59.5
$x=0.1$	17.7	7.7	1.8	9.8	65.5
$x=0.3$	19.7	4.7	3.1	10.4	62.1
$x=0.5$	20.8	2.6	4.7	10.3	61.6

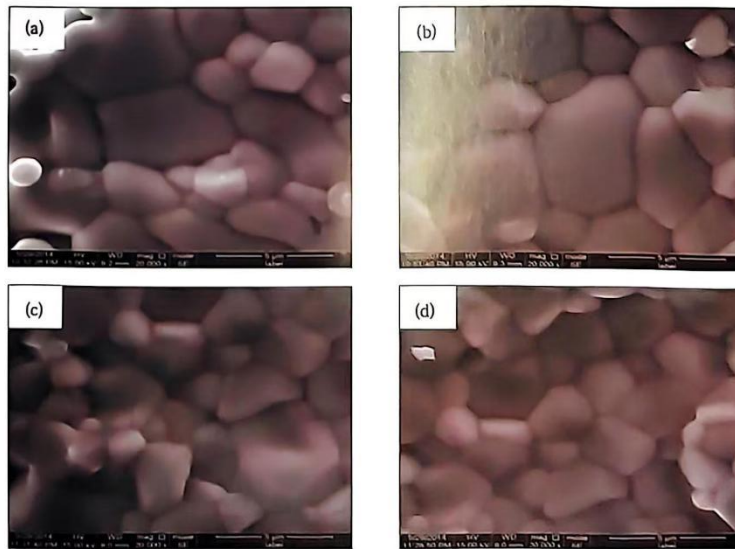


图 2 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 的显微形貌 (a) $x=0$ (b) $x=0.1$ (c) $x=0.3$ (d) $x=0.5$
Fig 2 Micromorphology of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ (a) $x=0$. (b) $x=0.1$. (c) $x=0.3$. (d) $x=0.5$

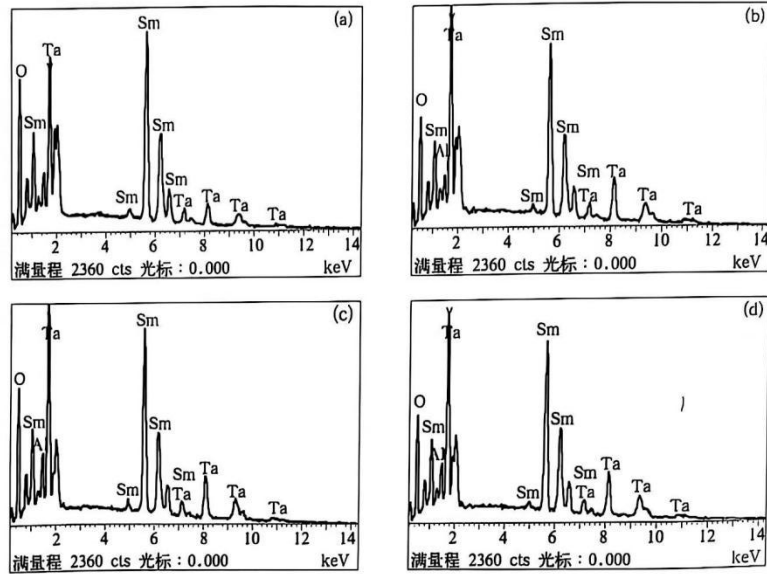


图3 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 的元素构成 (a) $x=0$ (b) $x=0.1$ (c) $x=0.3$ (d) $x=0.5$

Fig 3 Element composition of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ (a) $x=0$; (b) $x=0.1$; (c) $x=0.3$; (d) $x=0.5$

2.3 热导率

采用纽曼科普定律计算得到的 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 陶瓷材料不同温度下的比热见图4。很明显,该系列氧化物在不同温度下的比热均与温度成正比,而且随着 Al_2O_3 含量的增加,其比热值逐渐增加。四种不同氧化物的比热容拟合公式如方程(4)~(7)所示。

$$C_p(\text{Sm}_2\text{YTaO}_7)=0.37424+0.00006T-5292.168781/T^2 \quad (4)$$

$$C_p(\text{Sm}_2\text{Y}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{TaO}_7)=0.3763+0.00006T-5346.83572/T^2 \quad (5)$$

$$C_p(\text{Sm}_2\text{Y}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{TaO}_7)=0.38165+0.00007T-5732.16036/T^2 \quad (6)$$

$$C_p(\text{Sm}_2\text{Y}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{TaO}_7)=0.38681+0.00007T-6037.3/T^2 \quad (7)$$

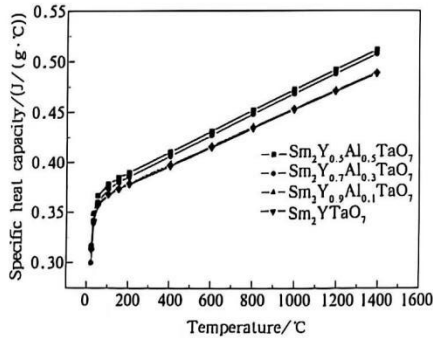


图4 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 氧化物不同温度下的比热
Fig 4 Specific heat capacity of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ oxides at different temperatures

图5(a)是 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 的热扩散系数。由图可知,该系列陶瓷的热扩散系数在 $200 \sim 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内与温度成反比,具有典型的声子导热机理^[16]。而且该系列陶瓷材料的热扩散系数与 Al_2O_3 含量成反比,其中 $x=0$ 时其热扩散系数处在 $0.3 \sim 0.28 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间, $x=0.1$ 时的热扩散系数位于 $0.28 \sim 0.256 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间, $x=0.3$ 时的热扩散系数位于 $0.26 \sim 0.24 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间, $x=0.5$ 时的热扩散系数位于 $0.23 \sim 0.21 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间。该系列氧化物的最终热导率见图5(b)。由图可知,其热导率也与温度成反比,其中 $x=0$ 时的热导率位于 $0.496 \sim 0.476 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间, $x=0.1$ 时的热导率位于 $0.485 \sim 0.466 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间, $x=0.3$ 时的热导率位于 $0.464 \sim 0.462 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间, $x=0.5$ 时的热导率位于 $0.46 \sim 0.435 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 之间。很明显,

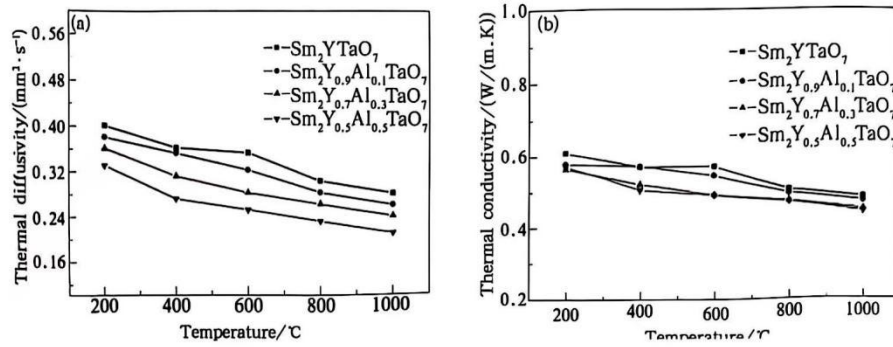


图 5 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 的隔热性能参数 (a) 热扩散系数 (b) 热导率
Fig.5 Thermal insulation property parameters of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ (a) thermal diffusivity and (b) thermal conductivity

四种氧化物的热导率虽然比较接近,但仍然随着 Al_2O_3 含量的增加而降低。根据声子导热理论,在氧化物晶体结构中引入外来离子后,外来原子与基质原子之间离子半径差别会在晶格中引入畸变场,原子质量之间的差别也会加剧声子的散射,从而降低声子的平均自由程,因而能够引起氧化物晶格热导率的下降。 Al^{3+} 和 Y^{3+} 的有效离子半径分别是 0.051 nm 和 0.09 nm,原子量分别是 26.98 和 88.91,较大的离子半径和原子量差别,有效的加剧了该系列固溶体的声子散射,因而其热传导性能随着 Al_2O_3 含量的增加而降低。该系列氧化物的热导率全部低于 $2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,即满足热障涂层对热导率的要求。

2.4 热膨胀性能

采用高温热膨胀仪测试得到的 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 陶瓷材料的热膨胀性能见图 6。可知该系列陶瓷材料的热

膨胀率在该温度范围内是平滑的曲线,这表明在该温度范围内所有氧化物未出现任何相变,即表现出良好的相稳定性,有利于延长高温涂层的工作寿命。图 6(b) 是该系列氧化物热膨胀系数。随着温度升高其热膨胀系数逐渐增大,这是由于随着温度的升高,原子间平均距离逐渐增加,从而使得材料的线性热膨胀系数随温度升高而增加。该系列氧化物在 $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 的线性热膨胀系数分别是 $10.2 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、 $10.05 \times 10^{-6}/\text{K}$ 、 $9.89 \times 10^{-6}/\text{K}$ 和 $9.62 \times 10^{-6}/\text{K}$,均大于 YSZ 的 $9.0 \times 10^{-6}/\text{K}$,满足热障涂层对热膨胀系数的要求。而且其热膨胀系数随着 Al_2O_3 含量的增加而降低,这是由于 Al^{3+} 的半径比较小,其部分取代 Y^{3+} 会降低原子间的平均距离,其晶格能会增加,因而其线性热膨胀系数与 Al^{3+} 含量成反比^[17]。

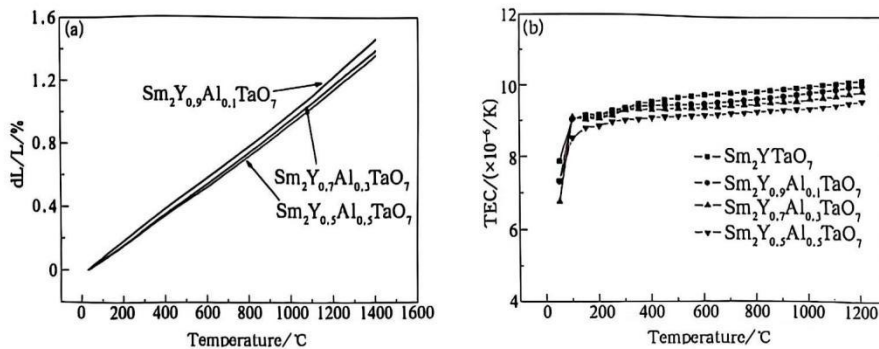


图 6 $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ 的热膨胀参数 (a) 热膨胀率 (b) 热膨胀系数
Fig.6 Thermal expansion parameter of $\text{Sm}_2\text{Y}_{1-x}\text{Al}_x\text{TaO}_7$ (a) thermal expansion rate and (b) thermal expansion coefficient

3 结论

(1) 采用高温烧结技术, 获得了致密度在 90% 以上的 $\text{Sm}_2\text{Y}_1\text{Al}_1\text{TaO}_7$ 陶瓷材料, 除 $\text{Sm}_2\text{Al}_{0.3}\text{Y}_{0.3}\text{TaO}_7$ 具有萤石结构之外, 其余三种氧化物均具有萤石结构。块体材料的晶界比较清晰, 元素组成及各元素之间的摩尔比均与各自的化学式基本一致。

(2) 该系列氧化物表现出典型的声子导热机制, 其

热导率均低于现役的 YSZ 陶瓷, 满足热障涂层的要求。由于 Al^{3+} 与 Y^{3+} 之间较大的离子半径和原子量差别加剧了氧化物的声子散射, 其热传导性能随 Al_2O_3 含量的增加而降低。

(3) 该系列氧化物在室温至 1400 °C 范围内表现出良好的相稳定性, 虽然随着 Al_2O_3 含量增加其热膨胀系数逐渐降低, 但依然满足热障涂层的要求。

参考文献:

- [1] Huang JB, Chu X, Yang T, et al. Achieving high anti-sintering performance of plasma-sprayed YSZ thermal barrier coatings through pore structure design [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 2022, 435: 128259.
- [2] Luo LR, Chen Y, Zhou M, et al. Progress update on extending the durability of air plasma sprayed thermal barrier coatings [J]. *Ceram. Int.*, 2022, 48, 18021-18034.
- [3] Xue ZL, Zhu Y, Yu HY, et al. Nano-agglomerated powder and thermal shock cycling property of 8YSZ nano-structured thermal barrier coating [J]. *Surf. Coat. Technol.*, 2022, 433: 128173.
- [4] Mondal K, Downey L. N. III, C. M, et al. Recent advances in the thermal barrier coatings for extreme environments [J]. *Mater. Sci. Energy Technol.*, 2021, 4: 208-210.
- [5] Ye FX, Meng FW, Yuan YH, et al. A potential ZrO_2 doped scandium tantalite ceramics for thermal/environmental barrier coating material [J]. *Mater. Chem. Phys.*, 2021, 270: 124786.
- [6] Wang JS, Chen MD, Wang YH, et al. Preparation and thermo-physical properties of $\text{La}_3\text{AlTaO}_{10}$ ceramic for thermal barrier coating application [J]. *Mater. Chem. Phys.*, 2022, 289: 126465.
- [7] Zhang Q, Chen L, Song P, et al. Potential thermal barrier coating materials, $\text{RE}_2\text{FeTaO}_7$ ($\text{RE}=\text{Y}, \text{Eu}, \text{Gd}, \text{Dy}$) compounds [J]. *J. Alloys Compds.*, 2021, 855: 157408.
- [8] Chen XG, Su ZH, Wang F, et al. Structural and thermophysical performances of $\text{Sm}_2\text{LaTaO}_7$ and $\text{Gd}_2\text{LaTaO}_7$ oxides [J]. *Ceram. Int.*, 2018, 44: 17571-17574.
- [9] Jia L, Wen TP, Tian C, et al. Preparation and thermophysical properties of $\text{RE}_2\text{CrTaO}_7$ ($\text{Y}, \text{Sm}, \text{Dy}, \text{Yb}$) ceramics for thermal barrier coating applications [J]. *Ceram. Int.*, 2022, 48: 23814-23820.
- [10] Zhang Q, Lu K, Wang SH, et al. Synthesis and thermophysical performances of $(\text{Nd}_{1-x}\text{Yb}_x)_2\text{AlTaO}_7$ oxides for heat-insulation coating applications [J]. *Ceram. Int.*, 2020, 46: 26754-26759.
- [11] Zhao ZF, Chen H, Xiang HM, et al. High entropy defective fluorite structured rare-earth niobates and tantalates for thermal barrier applications [J]. *J. Adv. Ceram.*, 2020, 9: 303-311.
- [12] Zou L, Li F, Liu JX, et al. High-entropy thermal barrier coating of rare-earth zirconate: a case study on $(\text{La}_{0.2}\text{Nd}_{0.2}\text{Sm}_{0.2}\text{Eu}_{0.2}\text{Gd}_{0.2})_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ prepared by atmospheric plasma spraying [J]. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2020, 40: 5731-5739.
- [13] Martinez LMT, Gomez MAR, Torres MZF, et al. Synthesis by two method and crystal structure determination of a new pyrochlore-related compound $\text{Sm}_2\text{FeTaO}_7$ [J]. *Mater. Chem. Phys.*, 2012, 133: 839-844.
- [14] Shlyakhtina AV, Belov DA, Pigalakiy KS, et al. Synthesis, properties and phase transition of pyrochlore- and fluorite-like Ln_2RMO_7 ($\text{Ln}=\text{Sm}, \text{Ho}$; $\text{R}=\text{Lu}, \text{Sc}, \text{M}=\text{Nb}, \text{Ta}$) [J]. *Materials Research Bulletin*, 2014, 49: 625-632.
- [15] Hinatsu Y, Doi Y. Structures and magnetic properties of new fluorite-related quaternary rare earth oxides LnY_2TaO_7 and $\text{LaLn}_2\text{RuO}_7$ ($\text{Ln}=\text{rare earths}$) [J]. *J. Solid State Chem.*, 2016, 233: 37-43.
- [16] Wu J, Wei XZ, Padture NP, et al. Low thermal conductivity rare earth zirconates for potential thermal barrier coating applications [J]. *J. Am. Ceram. Soc.*, 2002, 85: 3031-3035.
- [17] Wang JX, Li LP, Campbell BJ, et al. Structure thermal expansion and transport properties of $\text{BaCe}_{1-x}\text{Ei}_x\text{O}_3$ oxides [J]. *Mater. Chem. Phys.*, 2004, 86(1): 150-155.

(7) 数字化转型背景下智慧矿山产教融合的现状、困境与突破路径研究，读报参考

《读报参考》杂志社

稿件录用通知

阮寅芝、翟文硕同志：

您的文章《数字化转型背景下智慧矿山产教融合的现状、困境与突破路径研究》经我刊审核录用，拟在《读报参考》杂志 2023 年 9-10 月出刊发表。文章请勿一稿多投，文责自负。

《读报参考》杂志是经国家新闻出版总署正式批准的省级刊物，由青岛日报报业集团主管主办，国际刊号 ISSN 1009-4407，国内刊号 CN 37-1232/G2，邮发代号 24-125。



(8) 智能时代背景下职业教育数字化转型的挑战及路径研究，葡萄酒

《葡萄酒》录用通知

程文丽 阮寅芝 您好！

您撰写的论文：《智能时代背景下职业教育数字化转型的挑战及路径研究》（论文编号：PuTaoJiu1230）经《葡萄酒》杂志社审核，已经通过初审，并拟安排在近期发表，特此通知，请勿他投！

《葡萄酒》杂志是经国家新闻出版总署批准，面向国内外公开发行的优秀期刊。国内统一刊号：CN44-1658/C，国际标准刊号：ISSN1674-5523。

1. 请务必保证稿件内容的真实性和原创性。拟录用通知发出后，如果本刊发现该文稿存在剽窃、抄袭、一稿多投等现象，经核实后有权撤销。上述不端行为可能导致的包括但不限于法律、行政等责任均由作者本人承担。

2. 为了提升内容质量及形式上的规范统一，本刊在编审过程中可能会对所投稿件进行文本编辑，如果不同意编辑部此项工作，请在来稿时注明此项要求。

3. 为加强信息流通，助力知识传播，本刊已经与维普数据库合作，作者向本刊投稿时被视为同意将所投稿件全文上传维普，如作者有异议，请在投稿时声明。

查稿电话：020-37591463

《葡萄酒》杂志

2025年12月30日

(9) 煤矿智能矿山自动化开采技术与应用，工程研究与实用

- CrossRef 数据库收录
- 中国核心期刊(遴选)数据库
- 万方数据库知识服务平台收录
- 谷歌学术收录期刊
- 国际知名数据库MyScienceWork收录期刊

- 国际知名数据库ResearchBib收录期刊
- 文章拥有全球唯一文献标识码DOI



Volume 4 Issue 22 November 2023
ISSN:2717-5316

工程研究与实用

第22期
2023年
11月(下)

ENGINEERING SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION



 Omniscient Pte. Ltd.
— 万知科学出版社 —

目 录

contents

建筑施工技术管理对工程造价的影响探究	王自斐 / 1	10kV 配电线路故障与对策分析	许吉琦 / 52
煤矿智能矿山自动化开采技术与应用	高 争 郑莉莉 / 4	石油化工工程中机电安装工程施工技术与质量管理	陈从义 / 55
土木工程施工中混凝土浇筑施工技术的应用	魏琛珂 / 7	煤矿掘进过程中安全管理措施分析	郭飞飞 / 58
水利工程施工现场管理技术要点探析	陈 华 黎洪志 / 10	浅谈建筑装修造价控制与管理	戚奇乐 / 61
影响高压聚乙烯装置长周期运行的原因分析及对策	朱 强 / 13	农业机械化程度对农村经济发展的影响探析	吕昭抗 / 64
机械设备维修保养要求与提高设备维护水平措施	查建军 / 16	房建土建工程中的高支模施工技术分析	陈加云 / 67
输配电及用电工程自动化的优势及应用分析	姜海涛 / 19	建筑工程管理创新及绿色施工管理	王剑平 / 70
电力系统调度运行的危险点及控制措施	曹 娜 白 玮 / 22	冶金机械自动化技术研究	姚佳佳 / 73
谈现场工程质量把控的盲点及对策	吴洪峰 / 25	电子通信工程设备抗干扰接地策略	默亚斌 / 76
建设项目环境影响评价风险因素预防研究	闫 慧 / 28	天然气长输管道运行风险分析及控制措施	王晓倩 / 79
高层建筑的安全疏散设计分析	李振华 / 31	冶金机械自动化设备的现状及发展趋势	李凤竹 / 82
论电力系统自动化智能技术在电力系统中的应用	冯春燕 / 34	卫生统计数据的质量控制与评估方法	姚桂英 / 85
输配电工程的自动化控制技术分析	俞伟东 / 37	测绘新技术在市政工程测量中的运用探讨	李卓昌 张赛飞 / 88
GPS 高程测量在水利测绘工程中的运用	高亚旗 / 40	浅谈液压支架常见故障处理和检修维护	戴 强 王 刚 / 91
生态环保视域下城市环境工程污水治理措施	殷立新 / 43	大型火电厂燃煤空冷机组降耗措施研究	王燕龙 孙宁莹 / 94
新时期水利工程项目质量监督管理分析	钱 雷 / 46	电气工程及其自动化的建设与发展趋势	包亚勇 / 97
高层建筑物电梯电气系统防雷技术分析	郭凌宇 / 49	起重机械电气检验问题及检验方式研究	李有年 张万鹏 / 100

煤矿智能矿山自动化开采技术与应用

高争¹ 郑莉莉²

1. 平顶山工业职业技术学院 河南 平顶山 467000

2. 平煤股份八矿职教中心 河南 平顶山 467000

摘要: 本文介绍了煤矿智能矿山自动化开采技术与应用,包括综合自动化开采技术和主井提升远程智能控制技术。综合自动化开采技术包括矿井生产、安全监控、设备管理、人员定位等方面的自动化应用,可以提高生产效率和安全性。主井提升远程智能控制技术可以实现对提升设备的精确控制和智能调度,提高设备的安全性和运行效率。这些技术的应用可以显著提高煤矿的生产效率和安全性,为矿山企业的可持续发展提供有力支持。

关键词: 煤矿智能矿山; 自动化开采技术; 应用

引言: 随着科学技术的不断进步,智能化技术逐渐应用于各个领域,其中包括煤矿开采领域。传统的煤矿开采方式存在着人力成本高、生产效率低下、安全性不足等问题,而智能化技术的应用可以有效地解决这些问

题。本文将介绍煤矿智能矿山自动化开采技术与应用,包括综合自动化开采技术和主井提升远程智能控制技术,旨在提高煤矿的生产效率和安全性,为矿山企业的可持续发展提供有力支持。

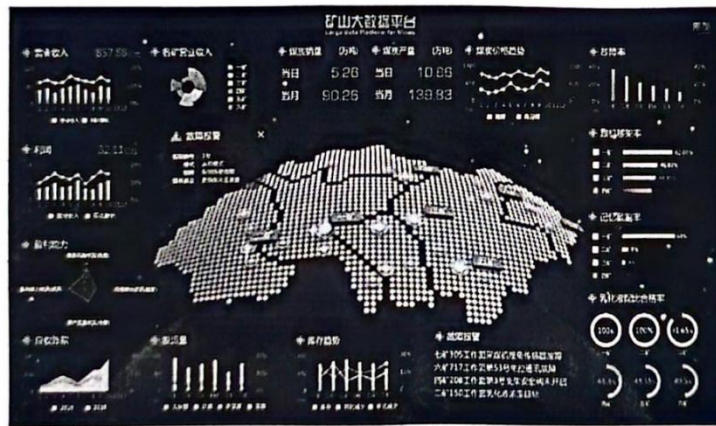


图1 智能矿山

1 智能矿山的定义

智能矿山是一种新型的矿山管理模式,它通过集成和应用现代信息技术、自动化技术、网络技术和人工智能技术,实现矿山生产全过程的智能化管理和控制如图1。智能矿山不仅包括矿山生产过程的智能化,还包括矿山设备的智能化、矿山管理的智能化和服务的智能化。智能矿山的建设目标是实现矿山生产全过程的数字化、网络化和智能化,提高矿山生产效率和安全性,降低生产成本和环境影响。

2 智能矿山自动化开采技术的发展意义

(1) 提高矿山的生产效率。通过引入先进的自动化

设备和系统,可以实现矿山生产过程的自动化和智能化,大大提高了矿山的生产效率。例如,通过自动化的钻探设备,可以实现快速、准确的钻探作业,大大提高了钻探效率;通过自动化的矿石运输设备,可以实现矿石的快速、安全运输,大大提高了矿石运输效率。(2) 降低矿山的生产成本。通过引入先进的自动化设备和系统,可以实现矿山生产过程的优化,降低了矿山的生产成本。例如,通过自动化的矿石选矿设备,可以实现矿石的高效选矿,降低了选矿成本;通过自动化的矿石破碎设备,可以实现矿石的高效破碎,降低了破碎成本。

(3) 提高矿山的安全性。通过引入先进的安全监测设

备和系统,可以实现矿山生产过程的安全监控,及时发现和处理安全隐患,保障了矿工的生命安全。例如,通过自动化的安全监测设备,可以实现矿山内部的实时监测,及时发现矿山内部的安全隐患;通过自动化的安全预警系统,可以实现矿山安全的实时预警,及时采取措施防止安全事故的发生^[1]。(4)实现矿山的环保生产。通过引入先进的环保设备和系统,可以实现矿山生产过程的环保控制,减少了矿山生产对环境的影响。例如,通过自动化的粉尘处理设备,可以实现矿山粉尘的有效处理,减少了粉尘对环境的污染;通过自动化的废水处理设备,可以实现矿山废水的有效处理,减少了废水对环境的污染。(5)推动矿业的科技进步。通过引入先进的自动化设备和系统,可以推动矿业设备的技术进步,提高矿业设备的技术水平;通过引入先进的信息技术和通信技术,可以推动矿业信息技术的进步,提高矿业信息技术的应用水平。

3 煤矿智能矿山自动化开采技术与应用

3.1 工作面设备控制技术

(1)采煤机根据开切眼记忆轨迹进行割煤。记忆轨迹是由集中控制器预先设置的,可以根据实际情况进行调整。采煤机在割煤过程中,会根据记忆轨迹自动调整切割位置和速度,从而实现精确割煤。这种割煤方式不仅可以提高割煤效率,还可以减少煤炭损失,提高煤炭质量。(2)记忆轨迹可以由集控器重新设置。这意味着,集中控制器可以根据工作面的实时情况,随时调整采煤机的记忆轨迹。例如,如果工作面出现了新的地质条件,集中控制器可以立即调整记忆轨迹,使采煤机能够适应新的地质条件,从而保证开采的安全和效率。(3)工作面设备控制技术还包括对支架的控制。支架是用来支撑工作面的设备,其稳定性直接影响到工作面的安全性。通过集中控制器,可以实现对支架的远程控制,包括支架的高度调整、角度调整等。这样,即使在复杂的地质条件下,也能够保证支架的稳定性,从而提高工作面的安全性。(4)工作面设备控制技术还包括对输送机的控制。输送机是用来输送煤炭的设备,其工作效率直接影响到煤炭的开采效率。通过集中控制器,可以实现对输送机的远程控制,包括输送机的速度调整、方向调整等。这样,可以根据工作面的实时情况,调整输送机的工作状态,从而提高煤炭的开采效率。工作面设备控制技术通过无线通讯设备,实现了对采煤机、支架和输送机的远程控制,大大提高了煤炭开采的效率和安全性。同时,该技术还具有灵活性,可以根据工作面的实时情况,随时调整设备的工作状态,从而应对各种

复杂的地质条件。

3.2 综合自动化应用

综合自动化应用主要包括矿井生产、安全监控、设备管理、人员定位等方面的自动化应用。通过采用先进的传感器、控制器和通信技术,实现对矿井各个环节的实时监测、故障诊断、远程控制和智能调度,提高生产效率和安全性。在矿井生产方面,综合自动化应用可以实现对采煤、掘进、运输等主要生产过程的自动控制和协同作业。例如,通过对采煤机、支架、刮板输送机、转载机等设备的自动控制,实现工作面的自动推进、割煤、装载等功能,提高生产效率。同时,通过对矿井通风系统、排水系统等辅助生产过程的自动控制,保证矿井的正常运行。在安全监控方面,综合自动化应用可以实现对矿井环境的实时监测和预警。例如,通过对瓦斯浓度、一氧化碳浓度、氧气浓度等环境参数的实时监测,及时发现矿井火灾、瓦斯爆炸等安全隐患。此外,通过对矿井水位、顶板压力等地质参数的实时监测,预测矿井突水、冒顶等灾害风险。通过对这些数据的分析,可以制定相应的应急预案,降低事故发生的概率。在设备管理方面,综合自动化应用可以实现对矿井设备的远程监控和维护。例如,通过对设备的工作状态、能耗、故障信息等数据的实时采集和分析,实现设备的智能调度和优化。通过对设备的定期巡检和维护,延长设备的使用寿命,降低维修成本。此外,通过对设备运行数据的长期积累和分析,可以为设备的升级换代和技术改进提供依据。在人员定位方面,综合自动化应用可以实现对井下作业人员的实时定位和管理。通过对人员进出矿井的时间、位置等信息的记录,实现对井下作业人员的考勤管理。同时,通过对人员位置信息的实时监测,可以及时发现井下人员的异常情况,如迷路、被困等,为应急救援提供依据。

3.3 井下电机车无人驾驶运输系统

井下电机车无人驾驶运输系统的核心技术包括自动驾驶、路径规划、障碍物识别与避障、通信与调度等。自动驾驶技术通过对电机车的实时控制,实现车辆的自动驾驶。路径规划技术根据矿井的空间布局和运输任务,为电机车规划最优的行驶路径。障碍物识别与避障技术通过对井下环境的实时监测,识别并规避行驶过程中的障碍物。通信与调度技术实现对电机车的远程监控和调度,提高运输效率。(1)井下电机车无人驾驶运输系统的发展经历了从传统的人工驾驶到半自动驾驶,再到现代的无人驾驶的过程。在传统的人工驾驶模式下,驾驶员需要全程操作电机车,劳动强度大,安全隐患

多。为了提高运输效率和安全性,研究人员提出了半自动驾驶模式,通过引入部分自动驾驶功能,减轻驾驶员的工作负担。然而,半自动驾驶模式仍然存在一定的局限性,如驾驶员需要时刻关注车辆的运行状态,无法完全解放双手。近年来,随着人工智能、大数据、云计算等技术的发展,井下电机车无人驾驶运输系统进入了无人驾驶阶段。无人驾驶模式下,电机车可以实现全自动驾驶,驾驶员只需在监控中心进行远程监控和调度,大大提高了运输效率和安全性。(2)井下电机车无人驾驶运输系统还具有较强的扩展性和兼容性。通过与其他系统(如矿井生产系统、安全监控系统等)的集成,实现信息的共享和交互,提高整个矿井的自动化水平。同时,无人驾驶运输系统还可以为矿井企业提供大量的实时数据和历史数据,有助于企业进行生产管理、设备维护和技术创新等方面的决策。

3.4 视频监控技术

(1)在液压支架上安装可转动监控摄像头,可以实时监测支架的工作状态。液压支架是煤矿井下支护设备的重要组成部分,其稳定性和可靠性直接关系到矿井的安全生产。通过在液压支架的关键部位安装摄像头,可以实时观察支架的工作状态,及时发现异常情况,为故障诊断和处理提供依据。同时,通过对摄像头信号的实时传输和分析,可以实现对液压支架的远程控制,提高设备的安全性和智能化水平。(2)在采煤机机身和摇臂上安装可转动监控摄像头,可以实时监测采煤机的运行状态。采煤机是煤矿井下主要开采设备,其工作性能和安全性对矿井的生产效率和安全生产具有重要意义。通过在采煤机机身和摇臂上安装摄像头,可以实时观察采煤机的运行情况,及时发现设备故障和安全隐患。此外,通过对摄像头信号的实时传输和分析,可以实现对采煤机的远程控制,提高设备的安全性和智能化水平。(3)在刮板输送机机头和机尾安装可转动监控摄像头,可以实时监测刮板输送机的运行状态。刮板输送机是煤矿井下主要运输设备,其运行稳定性和安全性对矿井的生产效率和安全生产具有重要意义。通过在刮板输送机机头和机尾安装摄像头,可以实时观察刮板输送机的运行情况,及时发现设备故障和安全隐患。此外,通过对摄像头信号的实时传输和分析,可以实现对刮板输送机的远程控制,提高设备的安全性和智能化水平^[2]。(4)在马蒂儿上安装可转动监控摄像头,可以实时监测马蒂儿的工作状态。马蒂儿是煤矿井下重要的辅助运输设备,其运行稳定性和安全性对矿井的生产效率和安全生产

具有重要意义。通过在马蒂儿上安装摄像头,可以实时观察马蒂儿的运行情况,及时发现设备故障和安全隐患。此外,通过对摄像头信号的实时传输和分析,可以实现对马蒂儿的远程控制,提高设备的安全性和智能化水平。

3.5 主井提升远程智能控制技术

(1)实时监测和数据处理。通过对主井提升设备的关键参数(如速度、位置、载荷等)进行实时监测,可以及时发现设备的异常情况,为故障诊断和处理提供依据。同时,通过对监测数据的实时处理和分析,可以实现对提升设备的智能控制,提高设备的安全性和运行效率。(2)主井提升远程智能控制技术依赖于先进的传感器和控制器。在实际应用中,需要采用高精度的速度传感器、位置传感器、载荷传感器等,对提升设备的运行状态进行实时监测。同时,需要采用高性能的控制器,对提升设备的运行参数进行实时调整和优化。通过这些先进的传感器和控制器,可以实现对提升设备的精确控制,提高设备的安全性和运行效率。(3)依赖于高速、稳定的通信网络。在实际应用中,需要建立高速、稳定的光纤通信网络,实现对提升设备的远程监控和智能控制。通过这种高速、稳定的通信网络,可以实现对提升设备的实时数据传输和处理,提高设备的安全性和运行效率^[1]。(4)需要与其他相关系统(如矿井生产系统、安全监控系统等)进行集成。通过与其他系统的集成,可以实现信息的共享和交互,提高整个矿井的自动化水平。例如,可以通过与矿井生产系统的集成,实现对提升设备的调度和优化;通过与安全监控系统的集成,实现对提升设备的安全监控和预警。

结语:总之,煤矿智能矿山自动化开采技术与应用是未来矿山发展的趋势,可以显著提高煤矿的生产效率和安全性。在实际应用中,需要结合矿山的实际情况,选择合适的自动化技术和设备,并与其他相关系统进行集成,实现信息的共享和交互,提高整个矿井的自动化水平。同时,还需要加强对自动化设备和系统的维护和管理,确保其正常运行和安全性。

参考文献

- [1]王世勇,王立波,王明哲.智能矿山自动化开采技术与应用[J].矿业工程研究,2020,35(3):79-84.
- [2]张云峰,张泽宇,张新星.视频监控技术在煤矿智能矿山中的应用[J].工矿自动化,2021,47(5):109-114.
- [3]李明,李华,李涛.主井提升远程智能控制技术的应用[J].煤炭科学技术,2020,48(12):178-183.

(10) 基于现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用解析, 工程技术

ISSN 1671-5519
CN 50-9203/TB

中文科技期刊数据库 (全文版)

工程技术

ENGINEERING TECHNOLOGY



中文科技期刊数据库(全文版)

工程技术

2021年8月9

主管单位: 科技部西南信息中心

主办单位: 重庆维普资讯有限公司

出版单位: 重庆维普资讯有限公司

主编: 左东林

电话: 023-63102116

网址: <http://www.cqvip.com>

地址: 重庆市渝北区洪湖西路

18号上工企业公馆

邮编: 401121

国际标准连续出版物号: ISSN 1671-0219

国内统一连续出版物号: CN 50-8205/33

法律顧問: 付 军

本刊声明

本刊经国家版权局备案, 所有稿件一经发表, 均视为作者同意刊登, 且刊登后, 本刊即享有该作品的著作权, 包括但不限于复制、发行、汇编、展览、表演、放映、广播、信息网络传播、摄制、改编、翻译、注释、整理、编辑、出版、发行、传播、展览、表演、放映、广播、信息网络传播、摄制、改编、翻译、注释、整理、编辑、出版、发行、传播等权利, 未经许可, 不得转载、摘编、复制或进行其他任何方式的传播。

目次

工程管理

1668 某工程项目的质量管理绩效分析	张广力 李梦圆 1
海上风电项目管理	孙本进 2
关于建设工程实施全过程工程咨询的探讨	冯建伟 4
装备制造企业精益生产管理实践探析	尤少峰 5
关于美国土地工程开发整地项目的探讨	孙海刚 7

建筑工程

工程总承包背景下BIM技术在装配式建筑工程中的应用研究	茹英梅 9
关于建筑工程项目管理中的控制要点与优化措施的研究	王 林 10
探究超高层公共建筑超高层建筑的降水	葛佳玲 12
关于影响建筑工程管理的主要因素及对策研究	罗春晓 13
建筑外立面装饰设计研究	赵爱爱 15
浅析房屋建筑工程结构优化设计措施	戚 明 16
房屋建筑工程结构裂缝控制及处理技术改进	林 强 18
新建雨水管网结构防渗施工技术研究	何 建 19
建筑装饰装修工程施工管理要点及优化对策探讨	俞阳 21
浅述建筑工程新型结构工程技术	王云芝 22
浅述预制装配式技术在超高层建群中的质量控制	蔡 东 24
建筑工程造价审核工作的重点与措施	何 勇 林英丽 杨国明 范晓文 李松义 25
软土地基中深基坑支护技术应用——以长山头项目为例	程海强 27

路桥工程

软土路基处理中道路桥梁施工技术研究	王 磊 29
境外公路工程履约风险管理	尹 航 30
关于道路桥梁工程施工中的装配式管桩成桩与沉桩措施分析	何武群 32
影响道路与桥梁施工管理的因素及应对措施分析	王 冲 34
公路桥梁设计管理技术的优化	吴 孝 36
道路桥梁沉降监测施工技术的研究	吴孝孝 38
浅析我国道路桥梁施工技术现状及发展趋势	李 欢 39
路桥施工中的水路基面的施工技术浅述	李艳杰 40
路桥施工中的架桥施工技术探究	田 鹏 41
关于路桥工程项目管理中存在的问题与应对措施研究	李惠林 42
浅述桥梁检测及质量监测	李 旭 44
关于特大桥梁土桥墩梁底监测施工技术的研究	蔡 鹏 46
路桥工程施工管理中的质量问题分析	姜 健 48

水利工程

海南省保亭县南春二梯水电站扩容方案的选择	王 武 50
----------------------	--------

关于道路与桥梁工程施工的安全管理分析	周广胜 李制斌 258
电子产品质量控制分析	李 冀 杨 青 257
化工生产危险因素及安全预防研究	沈生海 258
深基坑施工难点及技术安全控制分析	张秀芹 258
化工企业危险化学因素分析及安全管理	罗 斌 262
汽车防撞注蜡工艺建筑设计的大规模及安全预防系统应用	李子群 264

技术论坛

振动载荷作用下印刷机参数与测热度关系的仿真研究	谢小龙 邢 涛 王亮成 段立军 268
岩土工程基桩检测技术浅谈	金戈戈 268
基于孔压静力触探试验方法确定砂土的内摩阻角研究	张高攀 270
永磁直驱式轴流泵电动机调速的设计及应用	陶 宝 272
大电网调度智能化的关键技术问题研究	曹 兴 胡 滔 274
基于Photoshop 软件的正射影像处理方法	魏国春 何 新 李 超 275
电液伺服技术在结构设计中的应用	顾顺作 277
汽车发动机曲轴加工技术的实际应用与研究	闫金夏 刘福敏 赵玉琳 田利军 张小磊 279
锅炉炉气氨法脱硝氨气逃逸、气态氨控制问题研究治理	呼志超 280
陕北大规模印钞铸币铸锭及印模热影响区粗化的方法探究	张 昕 283
蒙华铁路空压站通风方式的数值模拟与分析	李保华 287
航天产品物流装配车间MES 系统及应用研究	杨敬涛 曹世鹏 李广博 赵学浩 288

交通運輸工程

宁波铁路枢纽远期客站能力分析与研究	董洪建 292
城市轨道交通发展趋势浅析	沈 瑾 294
山区公路交通安全设施设计问题讨论	杨文杰 295
信息技术在交通運輸工程中的应用综述	李 瑞 297
智能化趋势下城市交通规划发展的构想	

既有运营地铁线路下超深埋盾构掘进开挖技术研究	陈殿堂 298
探究城市轨道交通信号系统设备与测试技术	董建忠 300
关于地铁环控技术的应用及发展前景	贾 琛 303
ITS 典型站场设计及实现	叶俊成 307

矿业工程

关于智能矿山的煤矿机电技术管理探讨	王向群 高 江 309
矿山电气安全管理与技术的分析	徐振军 王为鹏 310
浅述煤矿安全在线检测技术	傅家琴 312
超前锚杆支护在煤矿井下掘进中的应用	石长春 313
煤矿机电设备常见故障及维修技术应用分析	邵 江 王育坤 315
关于矿山电气安全管理与技术的研究	徐振军 王为鹏 318
新技术背景下煤矿机电管理模式创新研究	杨福华 318
基于现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用研究	朱金矿 319
晋城选煤厂原煤车间胶带输送机煤水雾抑尘系统应用综述	张永年 323
煤矿机电设备中变频节能技术的应用浅析	王育坤 王向群 323
高硫煤矿废水处理工艺比选及工程应用	刘 洋 325
关于岩石矿物的分析鉴定	李俊春 327

自动化技术

关于自动化技术在煤矿机电设备中的应用探析	赵 冀 杨 辉 329
----------------------	-------------

城乡规划

从新农村建设到乡村振兴的晋南晋北实践研究	李洪波 333
晋南晋北城镇化下的住宅适老化设计	董晶晶 332

基于现代化采矿工艺技术在采矿工程中的应用解析

李金矿

平顶山工业职业技术学院, 河南 平顶山 467000

摘要: 矿产资源对我国经济发展具有无可替代的重要作用, 而采矿技术是保证矿产资源顺利采出以及合理利用的主要技术手段。随着现代化的采矿工艺技术相对于传统的采矿技术拥有了很多革命性的改变, 带来了许多本质技术上的优势, 本文以现代化采矿技术为主要论述内容, 首先对现代化采矿工艺技术的应用现状进行了发展概述, 然后阐述了现代化采矿技术基本采矿工程中应用的典型技术方法, 最后提出了将现代化采矿工艺技术应用于实际生产中的具体办法, 旨在为煤矿开采企业提供高效率、降低成本、保障安全。

关键词: 现代化采矿技术; 采矿工程; 技术发展; 应用研究

中图分类号: TD82 **文献标识码:** A

引言

矿产资源是我国经济水平高速发展的重要支撑, 其对于我国社会人民群众生活质量保障具有不可忽视的重要作用, 但是随着我国经济高速发展, 对于矿产资源的开采、安全、环保等意识方面存在一定不足, 导致我国矿产资源开采、加工等企业容易发生安全事故, 环保要求不达标、开采超标不合规等现象, 这些现象不仅导致了大量的矿场关停, 造成矿产资源的浪费, 同时各种各样的安全事故频频发生, 在矿场工作的人民群众生命安全得不到有效保障, 也会给企业乃至国家造成巨大的经济损失。因此, 加强现代化采矿工艺技术的研发对于提高矿产资源的开采率、利用率, 确保施工人员在矿产开采及加工现场工作时的安全是一个巨大的挑战, 这就需要相关技术安全工作人员以及安全科研机构等单位投入更多的时间和精力去完成现有技术的突破与创新, 安全永无止境, 只有能够保证各项工作安全平稳运行, 我国的矿产资源开采加工工作才能够长久持续地开展下去。

1 传统采矿工艺技术应用现状

1.1 采矿技术全面不足

众所周知, 企业的采矿工艺水平是在矿产资源开采实际过程中对开采效率和安全生产保障方面的高度影响因素, 与采矿工程在我国经济体系中能长时间顺利地发展存在密切关系, 我国的矿产资源开采工作虽然已有几十年的发展历史了, 但是就目前的企业应用现有技术来看, 仍然存在着很多制约发展的因素, 比如采矿资源勘探定位以及地质勘探等探究工作方面, 我国现有的勘探技术较之于国外技术的欠缺是技术发展的全面性, 这就容易造成对于地下的矿产资源的探测探测不够精确明晰, 矿产储量探测不能精确, 以至于不能准确地勘探工作的结果, 这对于矿产资源的开采工作效率产生不良影响, 另外一个方面是在对矿产资源的开采过程中, 传统的矿产开采机械化程度不高, 大部分还是依靠人工开采, 这就为矿工们的生命安全带来了很大隐患, 同时由于在开采管理上一直是粗放型管理, 管理模式较为原始, 缺乏现代管理理念的体系性, 管理模式的状态对于采矿工程的现代化发展也是有很多不利因素的, 由此可见, 采矿技术全面性的缺乏与不足, 会导致采矿效率水久下降, 无法再进行二次开发, 这是十分严重的能源浪费, 会带来巨大的经济损失, 所以, 切实有效地提高采矿工艺水平已经成为当前的重要任务。

1.2 安全问题不容忽视

在我国现代各种矿产资源相关企业运行、生产以及发展过程中, 安全二字始终是国家安全部门、环保部门、应急管理部门对矿产企业负责人在经营管理工作中的强制规定之一, 同时也是维护我国矿产能源促进社会经济, 国民生活质量稳定、高效、持久发展的重要基础, 没有了安全, 一切的发展都将成为空想, 一切的劳动发展也将无从谈起。

在采矿工程技术应用过程中, 存在的重大安全隐患问题的地方主要表现为以下两点: 第一, 在进行采矿作业施工进行的过程中, 矿产资源的开采工作主要是在地下几百米的深

度, 人员操作、机械运行以及采矿车辆运输均要通过隧道、矿车、矿池等设施, 在进行的施工条件情况下, 矿车涉水以及矿池塌方事故是为最为常见的安全问题, 但是我们在日常新闻中听到次数最多的问题, 大多数的矿难事故均由此而起; 第二, 在进行地下开采的过程中, 需要进行爆破工作将坚硬矿物进行破碎, 方便开采与运输, 但是在爆破过程中施工空间十分狭小, 受限空间内的各项施工作业极易造成空气流通不畅, 导致瓦斯爆炸及矿车火灾发生的概率相对较高, 这是矿产开采过程中发生矿难事故的第二大重要起因。

2 现代化采矿工艺在实际工程中的应用

2.1 机械全自动化开采应用

在我国矿产企业进行矿产资源开采运输的过程中, 用机械代替替代人工, 通常时省力又能很大程度上减少安全隐患, 企业最常使用的机械自动化开采法主要分为两种, 分别为“露天开采”和“地下开采”这两个主要类型。

露天开采的主要内容包括先利用爆破手段将其他的破碎技术方法将矿产表面硬质的岩石进行破碎、剥离, 使矿产能够大面积的暴露出来, 然后按照从上到下、由浅入深的顺序进行矿产资源开采, 由以上简单的定义可知, 露天开采相对的矿产资源主要存在于地表浅层或者埋藏在地表之上, 使用机械自动化的露天开采方式能够有效提高矿产资源的开采效率, 保障矿产资源损失降到最低, 同时还能够有效降低企业的开采成本, 很大程度上能够提高施工的安全系数, 地下开采这种方式主要适用于矿产资源存在于地表深层, 根据矿产类型不同其埋藏于地下的深度也不尽相同, 一般从几十米到几百米不等, 这类资源还具有矿体厚度较薄的缺点, 从地表的横切面来看, 整个的矿体埋藏深度为几米到十几米的情况较为常见, 在此情况下, 采用机械自动化的开采方式最为有效, 但是地下开采所获得的经济效益以及安全性能方面显然会较之于露天开采要低很多。

2.2 精微采矿技术的应用

在现代化的采矿工程施工工作中, 爆破式的开采技术在矿场中的应用也越来越广泛, 这一技术的主要实施方案就是利用化学中的炸药溶解原理, 将各种具有溶解性的化学试剂按照不同的矿物岩石种类进行合理搭配, 分层次应用, 对需要开采的目标矿产资源进行化学试剂溶解处理, 一方面使得矿物资源表面的岩石层脱落, 另一方面是使矿产资源溶解在化学试剂中, 后续再通过化学工艺分离工程的方法将矿产资源去除, 应用此种方式效率和目标矿产资源。

对于液浸式采矿工艺技术而言, 由于其工艺水平要求较高, 使用条件及范围较为苛刻, 需要由具备矿产专业以及化学专业的复合型人员进行操作, 对于施工技术人员的技术能力及水平都是很大的考验, 并且其涉及的各种理论数据以及熟练的实操操作技能都是必不可少的, 只有在这些条件都具备的基础上才能够合理应用液浸式开采技术, 某些省份地区的矿场施工以及加工车间, 经常需要在进行实际的液浸式施工之前, 专业技术人员需要对目标所在的采矿区域进行取样化验, 分析其中主要矿物种类和矿产资源的物理、化学性质、功能状态、特性参数等方面进行详细地分析与表征,