

申报**2020**年度湖南省科学技术进步奖公示

(2020年度)

1、项目名称：

钢企板坯设计和高端装备钢板零部件排版智能优化技术与应用

2、提名意见：

项目工作描述湖南华菱湘潭钢铁有限公司板材切割的逆向板坯设计和高端装备制造中多形状钢板零部件切割的优化排版的瓶颈，解决了企业的刚需难题，主要的创新为3点。1. 提出钢铁企业多产线协同智能板坯设计方法与技术；2. 授权的发明专利：大型起重机制造中多形状智能钢板零部件智能排版装置与方法；3. 提出自适应轧制和切割设备的中厚板坯料优化设计装置及方法，发明出自适应设备中厚板坯料设计装置。其成果在湖南华菱湘潭钢铁有限公司上线、正在江西新余钢铁集团有限公司实施，其中客户订单板坯设计组件每年为湖南华菱湘潭钢铁有限公司创造经济效益超过近2亿元，节约原煤7000吨，并且正在向全国推广。2019年12月湘潭电视台和湖南教育电视台进行了报道。

提名该项目为湖南省科学技术进步奖二等奖。

3、项目简介：

2012年，在国家科技支撑计划项目（NO：2012BAF10B04）和国家自然科学基金项目（NO：61272294）立项支持下，本团队开发了板材MES板坯设计系统，解决了湘钢板材年产量385万吨的板坯设计问题，每年创效4000多万元的效益一定程度减轻了湖南华菱湘潭钢铁有限公司（简称湘钢）每月走过1亿元的亏损。在国家实施中国制造2025 和“一带一路”和供给侧改革以后，从2015年开始，湘钢业务年产量从2013年前的板材年产量400多万吨增加到600万吨，钢企开始扭亏为盈，高端装备制造业景气回升。但由于订单结构多样性增加和规模增大，不仅缺少非矩形件板型和矩形件G板型的板坯设计，就连矩形件A和S板型的板坯设计都已经难以处理，甚至失败。而三一汽车多形状零部件排版与切割在SigmaNEST软件排版后还需要人工调整，板材利用率有待提高。这些已成为公司创效和产品质量提升的瓶颈问题，严重影响公司的创效提升和国际竞争力。

1995年，湖南省继续财政立项：钢铁企业板材生产排程与切割排版智能优化设计的关键技术研究与应用（NO：15CY010，2015.7-2017.6，40万元）且企

业横向立项：湘钢宽厚板MES自动组板升级系统（NO：O518001-518162101E，2018.5-2019.12，13.8万元）。完成的工作是围绕钢铁企业板材切割的逆向板坯设计和高端装备制造中智能钢板零部件排版刚需问题而展开，具体的内容包括：1）钢铁企业多产线协同智能板坯设计方法与技术；2）钢铁企业自适应轧制和切割设备的中厚板坯料优化设计方法与技术；3）大型起重机制造中智能多形状钢板零部件排版方法与技术。

钢企板材生产中的多板型板坯设计能归结为计算机科学与技术中的一类组合优化：多维多重背包问题。大型装备制造中的多形状钢板零部件切割排版能归结为计算机科学与技术中的另一类组合优化：材料最省的约束装填问题。它们都具有NP-难属性。本团队受无免费午餐定理启发，将设计者和研究者的经验和知识融入算法，将运筹学、概率统计、计算机图形学与超启发式优化及并行计算硬件技术相结合，突破瓶颈，解决了企业刚需问题。具体的创新包括3个部分。

1. 发明了钢企多产线复杂板型协同板坯设计装置与方法。第一，将原矩形件A和S板型扩展为A、S和G及其扩展板型的板坯设计。第二，提出滑动邻域和回溯启发式构造候选板坯方案、轴合同质检和多核硬件并行计算技术。第三，设计者偏好的参数输入和多人多产线协同确认，彻底消除了设计者久等的烦恼。最大特点：实现求解精度和计算效率双提高。

2. 发明了钢企自适应轧制和切割设备的中厚板坯料优化设计装置与方法。它通过基于工程师的经验和历史方案数据预估成材率替代工程师人工预估，继而智能设计单定或只给出重量的订单的中厚板坯料。突破了瓶颈，解决了轧制和切割设备对成材率极为敏感，其成材率靠设计人员人工预估的问题。

3. 授权发明专利：大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置与方法。它是通过聚类 and 区域寻优启发式搜索对多形状零部件进行粗排版，用运筹学中Lagrange乘子和Kuhn-Tucker条件计算出待排版的零部件最佳位置和方向实现非矩形件紧凑排版。

本项目成果中，申请发明专利3项和软件登记1项，其中授权1项、2项正在实审。其成果在湘钢上线，2018.12-2019.12统计数据表明：系统组坯率从50%左右上升到超过70%，综合成材率和计算效率分别比2018年初提高1.85%和10倍以上。2019年12月湘潭电视台和湖南教育电视台进行了报道。

4、客观评价：

（1）. **项目成果突破瓶颈的机制上的创新**。本项目工作都是围绕钢铁企业板材切割的逆向板坯设计和高端装备制造中智能钢板零部件排版刚需问题而展开。在突破瓶颈，解决

企业上述刚需问题时都通过启发式构造将高维实数空间求解转换为低维整数空间优化放置序列的问题。基于该创新思想的论文A heuristic particle swarm optimization with quasi-human strategy for weighted circles packing problem投稿到2012ICNC国际会议，被推荐到SCI期刊Computer and Mathematical with Application，2014年又获得湖南省第15届自然科学二等优秀学术论文奖。专家的审稿意见如下：

Subject: ICNC'12-FSKD'12 P1921 Acceptance Notification

Dear Ziqiang Li,

Paper ID : P1921

Paper Title : A heuristic particle swarm optimization with quasi-human strategy for weighted circles packing problem

Comments from Reviewer 1 :

It is a good paper.

Comments from Reviewer 2 :

This paper proposed a heuristic PSO with quasi-human strategy, a new way to modify the velocity and position of a particle. **Compared to the existed algorithms, the results of the proposed algorithm (HQHPSA) were promising.** However, there are some minor concerns. First, the illustrations of the variables used in the equations have some misspelling; for example, there is a Mandarin Chinese character shown in formula (2). Second, some definitions of the variables are not clear; for instance, calculate $D_i = -?U(XP(i)P)$, $XP(i+1)P = XP(i)P + \mu D_i$, the variable: “ $-?U(XP(i)P)$ ” remained undefined in the paper (page 4). Third, please make the expressions of formulas look smoother and more readable.

Comments from Reviewer 3 :

This paper presents an efficient work. It is valuable to accept this paper.

Date: Tue, 10 Apr 2012 01:27:52 +0000

(2) **基于启发式构造机制的理论和技术创新**。湖南省产学研培育立项：钢铁企业板材生产排程与切割排版智能优化设计的关键技术研究与应用(NO: 15CY010, 2015.7-2017.6, 40万元)的结题专家意见。

专家验收意见：

(项目编号： 15CY010)

项目针对钢铁企业板材生产排程与切割排版问题和卫星舱布局问题，采用多学科结合和理论分析与实验验证相结合的研究方法，开展了智能优化设计的关键技术研究，解决了钢铁企业人工组板组坯和组炉组浇效率低和成材率较低的问题，进一步提高了卫星舱的空间利用率和其它性能指标，取得了论文、专利和科技进步奖等多项研究成果，研究成果在研究领域/方向具有较高的理论价值和科学意义，具备较好的应用前景/产生了较大经费效益。项目完成了约定的研究任务，取得了预期的研究成果，符合项目结题条件，同意结题。

专家组组长(签名): 刘建勋

2018年6月13日

(3) **理论技术用于企业刚需创新。**湖南华菱湘潭钢铁有限公司立项：湘钢宽厚板MES自动组板升级系统（NO：O518001-518162101E，2018.5-2019.12，13.8万元）的验收报告给出了本项目成果的可行性和有效性。结题报告如下：

项目验收报告

一、项目验收简介

湖南华菱湘潭钢铁集团有限公司宽厚板 MES 自动组板升级系统项目于2018年5月26日正式启动，期间经过需求调研分析、业务解决方案、系统设计方案、代码开发、测试、试运行等工作，历时近6个月。在这期间，在项目组及各部门大力支持和积极配合下，按项目总体计划完成了各项工作，并于2018年11月26日投入正式运行。

在系统上线运行期间，针对运行中出现的具体问题，项目组随时进行沟通，及时解决，并根据业务需求，对系统功能进行优化和完善。

双方一致认为本系统功能满足相应的业务需求，具备基本的稳定性、可操作性、可扩展性，已达到了甲方的项目实施要求，特提请予以验收。

二、项目功能验收

项目开发完成的主要功能模块有：

序号	模块名称	功能	实现结果	验收人
		余坯自动组坯的试样修改	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强
		增加整 ASG 扩展组板方式	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强
		自动组板规则集灵活配置	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强
		组板效率提高50%	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强
		组板设计成材率提高0.3%	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强
		多人合作确认虚拟组板方案	☒ 通过 ☐ 不通过	黎自强

(4) . **企业统计数据证明了本项目工作的创新。**成果于2018年11月26日在湖南华菱湘潭钢铁有限公司上线，统计结果令企业领导和员工满意。

5、主要知识产权：

知识产权 (标准) 类别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准 编号)	授权 (标准 发布) 日期	证书编号 (标准批 准 发布部门)	权利人 (标准 起草 单位)	发明人 (标准 起草人)	发明专利 (标准) 有效状态
发明专利	大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置与方法	中国	ZL2015 108475 52.0	2019年 12月31日	2932898	湘潭大学，三一汽车起重机械有限公司	黎自强，王露，冉隆强，刘江来，刘新桥，陈性	有效专利
计算机软件著作权	钢铁企业复杂板型多产线协同板坯设计软件	中国	2019SR 122661 9	2019年 11月28日	04864869	湘潭大学	黎自强	其他有效的知识产权

6、主要完成人情况：

姓名	排名	职务	职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
黎自强	1		教授	湘潭大学	湘潭大学	将高端装备制造的零部件切割问题和钢铁企业的多约束板材设计问题归结为具有NP-难属性且带性能约束的逆向布局问题和多约束条件下多维多重背包问题，并分别建立它们的数学模型；提出基于知识和刚性需求的组板(板)的分治启发式与并行搜索机理与方法；提出基于聚类 and 区域寻优的大型起重机钢板零件排样启发式搜索算法方法；发明出大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置和开发出基于知识的余材钢板智能组板、基于知识的出钢材协同组坯个软件，负责软件著作权、发明专利、高级别论文文档的撰写和研究生的指导。
陈章红	2	部长	工程师	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	获批并完成了湖南省产学研项目：钢铁企业板材生产排程与切割排版智能优化设计的关键技术研究与应用（NO：15CY010，2015.7-2017.6，40万元），完成了公司立项立项2个项目：宽厚板MES自动组板升级系统。负责成果上线运行和指标的统计。
冉隆强	3	院长	高级工程师	三一汽车起重机械有限公司	三一汽车起重机械有限公司	负责提供高端装备制造的零部件切割排版的数据资源和经验知识及其数学语言描述，协同提出高端装备制造的零部件切割排版的分治启发式与并行搜索机理与方法和基于聚类和区域寻优的大型起重机钢板零件排样启发式搜索算法方法，以及协同发明出大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置。
徐云华	4	科长	高级工程师	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	主要负责设计人员的经验整理和数学语言表达，企业规则的数学描述。

			师			
匡世龙	5	副部长	工程师	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	在此项目中，对项目具体实施过程中对协调需要多部门配合问题，已经破除目前限制的生产框架进行协调和强力推进，扩展了设计方式，构建钢种分类确定轧制长度等突破型功能。
王潇隽	7		工程师	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	负责项目业务范围的确定，业务流程设计以及实施之后的结果测试。在此项目中，根据需求，打破原有宝信系统的限制，新建了扩展A和扩展G型两种设计模式，新建基础限定表。使设计输入能随时适应现场需求，保证设计结果更合理
陈琪心	6		工程师	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	湖南华菱湘潭钢铁有限公司	负责MES智能组板系统的基表设计，在原来的单个设计者确认的基础上，提出多产线多人协同确认的的虚拟板坯设计方法

7、主要完成单位及创新推广贡献：

单位	排名	单位性质	联系人	联系电话	创新推广贡献
湘潭大学	1	事业单位	刘文娟	0731-58292063	湘潭大学为该项目提供了人力条件，包括负责整个项目的黎自强教授、团队成员和10多位研究生。 湘潭大学为该项目提供了实验室、图书馆和文献数据库资源。湘潭大学是一所全国综合性重点大学，是湖南省人民政府、教育部共同重点支持建设高校，是全国首批具有硕士学位授予权的单位，湖南省首批招收留学生和国防生的高校，教育部本科教学工作水平评估“优秀”学校。拥有湖南省智能制造重点实验室和教育部与湖南省共建的计算智能与信息处理重点实验室，以及湖南省智能制造与能源管理研究生培养创新基地(合作单位：湖南华菱湘潭钢铁有限公司)、湖南省和国家双万一流的计算机科学与技术专业。 湘潭大学负责：将高端装备制造的零部件切割问题和钢铁企业的多约束板材设计问题归结为具有NP-难属性且带性能约束的逆向布局问题和多约束条件下

					多维多重背包问题，并分别建立它们的数学模型；提出基于知识和刚性需求的组板(板)的分治启发式与并行搜索机理与方法；提出基于聚类 and 区域寻优的大型起重机钢板零件排样启发式搜索算法方法；发明出大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置和开发出基于知识的余材钢板智能组板、基于知识的出钢材协同组坯个软件，负责软件著作权、发明专利、高级别论文文档的撰写和研究生的指导。
湖南华菱湘潭钢铁有限公司	2	国有企业	徐云华	073158652103	湖南华菱湘潭钢铁有限公司负责项目需求提出和成果应用推广。公司位于湖南省湘潭市岳塘区，是国内线、棒材和宽厚板专业生产优钢企业之一。目前，公司已形成年产1000万吨钢的综合生产能力。拥有炼焦、烧结、炼铁、炼钢、轧材等整套工艺装备，有三条线材、三条棒材和三条宽厚板生产线，其中宽厚板炼钢、精炼和轧钢设备均达到国际先进水平。公司与湘潭大学合作建立了研究生产学研基础，获批湖南省产学研项目：钢铁企业板材生产排程与切割排版智能优化设计的关键技术研究与应用（15CY010，2015.7-2017.6），公司立项：宽厚板MES自动组板升级系统（0518001-518162101E，2018.5-2018.12）。公司方面的创新包括：（1）在原来的A-S两种板型的板坯设计上，提出A-S扩展板型、G及其扩展板型的虚拟板坯设计设想，（2）在原来的单个设计者确认的基础上，提出多产线多人协同确认的虚拟板坯设计设想，（3）设计知识的提供及其基表的修改完善。例如：新增钢种与强度等级对照表，按照钢种划分强度等级，产线升级，轧制08基表按照产线拆分，并取消了品种代码，按照强度等级区分。 湖南华菱湘潭钢铁有限公司提出新的需求和立项：ERP系统改造项目配套校企合作项目和宽厚板厂5#铸机180坯料断面优化提效项目。并将成果向国内其它钢企介绍推广。
三一汽车起重机械	3	民营企业		0731-858312	三一汽车起重机械有限公司在该项目中负责提供企业刚需和成果应用。公司始创于1989年，2011年7月，公司首次入围FT全球500强，成为唯一上榜的中国机械企业。目前是中国最大、全球第六的工程机械制造企业，被连续获评为中国企业500强、其研发成果两次荣获国家科技进步二等奖。公司绝大多数汽车起重机械零部件全部由钢板切割而成，但它对批量多形态钢板零部件排版仍然显得力不从心，仍然是在SigmaNEST软件排版的基础上，通过人工进行改进。因而提出替代品的刚性需求，并为本项目提供汽车起重机械零部件图纸和尺寸数据。

有 限 公 司				4 7	三一汽车起重机械有限公司负责提供高端装备制造 的零部件切割排版的数据资源和经验，协同第一单 位提出高端装备制造的零部件切割排版的分治启发式 与并行搜索机理与方法和基于聚类 and 区域寻优的大型 起重机钢板零件排样启发式搜索算法方法，以及协同 发明出大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置。。
------------------	--	--	--	--------	---

8、完成人合作关系说明：

陈章红、徐云华、匡世龙、陈琪心和王潇隽是湖南华菱湘潭钢铁有限公司企划部和和生产部的技术核心骨干，他们与湘潭大学合作建立了研究生产学研基地，获批并完成了湖南省产学研项目：钢铁企业板材生产排程与切割排版智能优化设计的关键技术研究与应用（NO：15CY010，2015.7-2017.6，40 万元），完成了公司立项项目：宽厚板MES智能组板升级系统（NO：O518001-518162101E，2018.5-2018.12）

冉隆强是三一汽车起重机械有限公司工艺装备研究院技术核心骨干他与湘潭大学合作，提供高端装备制造的零部件切割排版的数据资源和经验知识及其数学语言描述，协同提出高端装备制造的零部件切割排版的分治启发式与并行搜索机理与方法和基于聚类 and 区域寻优的大型起重机钢板零件排样启发式搜索算法方法，以及协同发明出大型起重机制造中智能钢板零部件排版装置。