一 项目名称：汽车用铝板坯快速超薄铸轧理论与实验研究

主要完成人：熊勇刚 刘水长 张勇 杨小娟 吴吉平 陈科良

主要完成单位：湖南工业大学

二 单位推荐意见

本项目针对汽车用铝坯板的快速超薄铸轧工艺变形问题，以该工艺系统核心部件铸轧辊为主要研究对象，围绕铸轧辊热力耦合模型建立、铸轧过程变形机理分析以及铸轧辊辊形和工艺参数优化等三个方面展开了研究，得到了重要的结论，为铸轧辊最佳原始尺寸确定和板形控制提供理论参考，保障铝坯板成品形状与品质稳定性。项目根据铸轧工艺的特殊性和铸轧辊本身的特点，考虑温度载荷的影响，基于有限元和无网格理论，建立了精度可靠得铸轧辊变形热力耦合数值模拟模型；基于该模型对铸轧过程及其变形进行机理分析，获得了铸轧辊变形关键的边界条件、铸轧力分布规律以及工艺参数对铸轧力和铸轧辊变形得影响规律；并基于多目标模糊优化算法，得到了最佳原始铸轧辊辊形和工艺参数，为铸轧辊的设计、工艺参数确定提供数据参考和理论依据。

项目研究成果受到获得了国内同行得广泛关注和认可。8 篇代表作论文全部发表在在行业内知名期刊或权威会议上，代表作论文在相关研究领域的领先地位获得国内同行认可，如中国内中南大学钟掘院士团队、东北大学吴迪教授领导的团对等均高度认可了项目代表作研究成果。

三 项目简介

汽车轻量化对缓解能源危机和环境污染具有重要意义，是当今汽车发展趋势之一，另外，随着人们生活水平和审美水平提高，对汽车车身外形产生多样化的动态需求。快速超薄铸轧是一种环保、高效工艺，可为汽车车身轻量化提供铝板坯，且能够快速响应多样化得车身外形市场需求，对促进汽车工业发展具有重要意义。然而，铸轧是直接将液态金属“轧制”成半成品或成品的一种近终形成形技术，含跨了“铸造”与“热轧”两个不同的工艺过程，具有“高冷却速率、连续大变形”得特点。铸轧辊为铸轧工艺系统得核心部件，铸轧辊是此系统的核心部件，随着铝板坯连续铸轧工艺向提速与减薄方向发展，铸轧板变形问题日益突出。本成果从建立铸轧辊热力耦合模型、分析**快速超薄铸轧过程机理**、优化铸轧

辊辊型和工艺参数三个方面展开研究，具体如下：

1 铸轧辊热力耦合模型建立

根据铸轧工艺的特殊性和铸轧辊本身的特点，考虑温度载荷的影响，建立了铸轧辊变形热力耦合计算模型：运用热弹性力学理论，建立热弹耦合方程并求解；对于铸轧辊与板坯之间存在相对运动和接触问题，设计了动态边界条件的接触判据，采用了轧辊-板坯动态接触边界的自动处理算法，有效的提高了接触搜索的计算效率；针对板坯变形剧烈造成有限体积法网格发生畸变，采用用无网格——有限元耦合方法对计算域进行离散和建模，并且为克服移动最小二乘近似难以准确施加本质边界条件的缺点，将滑动 Kriging 插值引入无单元 Galerkin 法中，与非线性瞬变动态理论相结合，提出动力弹塑性分析的 Kriging 插值无网格法；针对铸轧过程中辊缝内液态铝液的低雷诺数流动，结合标准壁面函数与壁面增强处理模型，提出一种改进壁面函数；模型所得结果与现场测试数据吻合较好，二者之差约为 5%～10%。

2 快速超薄铸轧过程机理分析

应用铸轧辊热力耦合模型对铸轧过程进行数值模拟，得到了轧制过程中轧制压力分布规律为：轧制压力在变形区中间区达到最大值,而在入口和出口处逐渐减少；分析工艺参数对铸轧力和铸轧辊弹性变形的影响：铸轧力先增加后减小，呈非对称分布，最大值为 100MPa；铸轧辊在不同铸轧工艺参数下的弹性变形呈相似的“马鞍形”曲线，铸轧辊弹性变形最大值为 0.303 mm。

3 辊型与工艺参数优化

在基于热力耦合模型对快速超薄铸轧过程机理分析基础上，得到铸轧辊弹性变形的基础上和工艺参数对铸轧辊弹性变形的影响，基于此，建立辊形优化模型，为了避免目标函数之间数量级的差距而可能的淹没，采用多目标模糊优化并基于遗传算法的三次 B 样条函数对所得数据进行辊型曲线拟合，获得铸轧辊最佳原始辊形和最优工艺参数。

四 客观评价

项目的研究工作获得了国内同行得广泛关注和认可。8 篇代表作论文全部发表在行业内知名期刊或权威会议上，代表作论文受到国内中南大学钟掘院士团队、

得高度认可。
下面列举对本项目所列成果的主要评价：

1 中南大学钟掘院士领导的科研团队在中南大学学报(自然科学版)，2004，35：86-90 中指出，代表作 1 中基于热弹性力学和有限应变理论的热力耦合弹塑性有限元是目前金属成型过程的各种计算机模拟方法中最适宜的一种方法。

2 湘潭大学龚曙光教授领导的团队在文献“FE 与 EFG 耦合方法的 GPU 并行加速研究”中肯定了代表作 2 中无网格-有限元耦合方法计算的可靠性，文献提到：将无网格-有限元耦合方法应用到快速超薄铸轧辊变形计算中，计算结果与实际测定值比较接近，证明了算法的有效性和可靠性。

3 东北大学教授、中国轧钢学会大中型钢学术委员会副主任吴迪领导的团队在文献“Rolling force prediction for strip casting using theoretical model and artificial intelligence”中肯定了代表作 3 中指出： The calculation model was built by using non-grid finite element coupling method, and rolling force distribution during rolling was analyzed. Rolling reached the maximum value in the middle of deformation zone and decreased gradually at the entrance and the exit。肯定了采用无网格有限元耦合仿真获得得铝坯铸轧过程轧制力分布的研究方法。

4 吉林大学孟广伟教授所领导的团队在文献“含孔功能梯度压电材料板的力电耦合无网格伽辽金法”指出：在众多无网格方法中，无网格伽辽金法以其方法稳定、精度高、对离散点分布不敏感和适合结构分析等优点受到了较多的关注，肯定了本项目所采用的无网格研究方法的先进性。

五 论文专著目录

序号	论文专著名称/刊名/作者	影响因子	年卷页码（xx 年 xx 卷 xx 页）	发表时间年月日	通讯作者	第一作者	SCI 他引次数	他引总次数	知识产权是否

									归国内所有
1	熊勇刚,李军辉,王桥医,谭建平. 快速超薄铸轧机铸轧辊变形热力耦合模型[J]. 中南工业大学学报(自然科学版)		2002,04:412-414	2002，04	,	熊勇刚,	0	3	是
2	熊勇刚,谭建平,林益平. 基于无网格——有限元耦合方法的快速超薄铸轧辊变形计算[J]. 冶金设备		,2005,03:7-10	2005，03		熊勇刚	0	2	是
3	熊勇刚,谭建平,李小东. 超薄快速铸轧轧制压力分布计算[J]. 中国有色金属学报		2005,08:1243-1247.	2005，08		熊勇刚	1	4	是
4	熊勇刚,杨小娟,陈莘莘,谭建平. 一种确定无网格法权函数影响域的新方法[J]. 重庆工学院学报(自然科学版),		2008,(07):26-29+39.	2008，07		熊勇刚		1	
5	熊勇刚,田万鹏,陈科良,陈云飞,杜民献,吴吉平. 基于 Kriging 插值无网格法的动力弹塑性分析[J]. 中南大学学报(自然科学版)		2014,02:435-440.	2014，02	**吴吉平**	熊勇刚	0	3	是

6	熊勇刚,毛明智,臧铁刚,谭建平. 超薄快速铸轧机铸轧辊温度场和热凸度仿真及实验[J]. 中国有色金属学报		2001,03:485-488.	2001，03		熊勇刚		15	是
7	陈科良,熊勇刚,吴吉平. 铸轧辊辊形优化[J]. 机械与电子		,2008,08:15-17.	2008，08		**陈科良**		2	是
8	Shui-chang Liu，Zheng-qi Gu，Yong Zhang, Performance Calculation of a Vehicle Radiator Group Based on CFD Simulation with Modified Standard Function. SAE 2014 International Powertrain, Fuels & Lubricants Meeting		2014-01-2586-2595	2014，10		刘水长	0	0	是
合计							1	30	

六 主要完成人情况

以下单位“湖工大”指湖南工业大学。

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
熊勇刚	1	副院长	教授	湖工	湖工大	主要负责总体研究方案的制定和实施。

				大		
刘水长	2	无	讲师	湖工大	湖工大	主要进行了项目相关得仿真物理模型建立和改进壁面函数研究
张勇	3	主任	讲师	湖工大	湖工大	主要进行了项目相关的计算与无网格理论研究。
杨小娟	4	无	副教授	湖工大	湖工大	主要负责了项目中无网格法权函数影响域确定方法研究
吴吉平	5	无	副教授	湖工大	湖工大	主要负责了项目中弹塑性力学分析
陈科良	6		高级工程师	湖工大	湖工大	主要负责了铸轧辊及铸轧工艺参数优化相关研究工作

七 完成人合作说明

本项目由熊勇刚、刘水长、张勇 杨小娟 吴吉平、陈科良等 6 人共同完成。完成人均为湖南工业大学在职科研人员，从 2001 年开始，上述人员长期合作共同研究，撰写并发表论文。具体合作关系如下：杨小娟、吴吉平、陈科良长期与第一完成人熊勇刚保持科研合作关系，其中，杨小娟和熊勇刚共同完成代表作 4，吴吉平与熊勇刚共同完成代表作 5，陈科良、吴吉平与熊勇刚共同完成代表作 7；2009 年湖南工业大学成立车辆研究所之后，熊勇刚、张勇和刘水长作为研究所主要成员，开始科研上的紧密合作，在熊勇刚教授对快速超薄铸轧工艺前期研究基础上，团队进一步对铸轧过程建模进行了研究，以进一步提高仿真精度，为快速超薄铸轧工艺研究提供更可靠的研究手段，其中张勇主要从无网格离散理论方面与熊勇刚进行了合作研究，刘水长主要在辊缝间液态铝液流体的低雷诺数流动的壁面函数改进研究方面与熊勇刚、张勇进行了合作研究，并合作撰写和发表代表作 8。

第一完成人签名：熊勇刚