

# 切屑控制技术及刀具槽型优化技术

2006年4月

- 一、背景
- 二、切屑控制技术与槽型优化技术
- 三、应用

## 一、背景

多变的市场需求：多品种、小批量  
发展方向：NC、MC、FMS、GIMS  
存在问题：系统停机率高(有时高达50%)  
主要原因：连续切削—切屑控制(如切屑缠绕不断，任何一个理想自动化过程都不能实现)  
断续切削—刀具破损(刀具破损是一个典型随机过程，如刀具破损，则不得不停车换刀)  
解决途径：切屑控制技术研究与预报系统开发、刀片槽型优化技术研究及产品开发

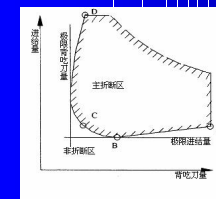
## 二、切屑控制技术与槽型优化技术

### 第一部分 断屑机理及断屑 预报系统

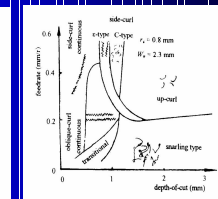
## 1、断屑机理及槽型开发

### (1) 切屑折断界限机理

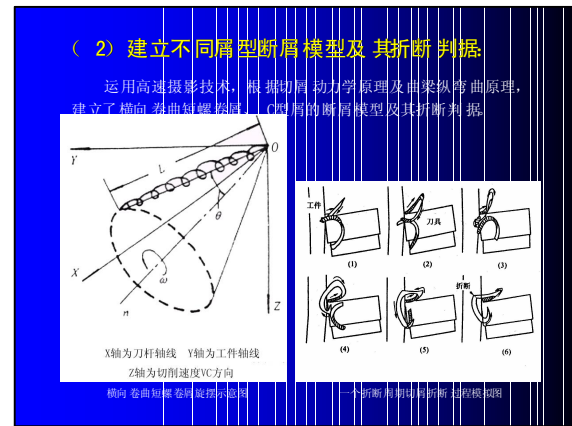
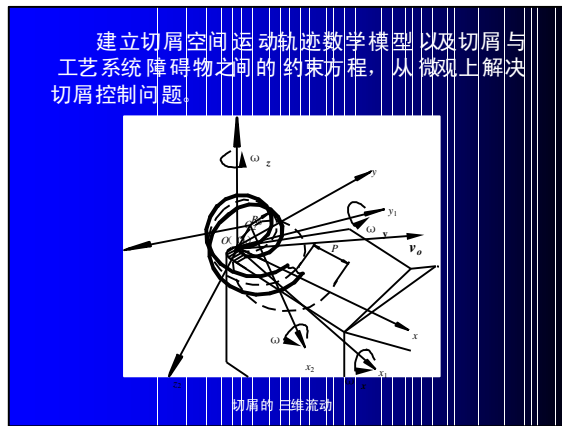
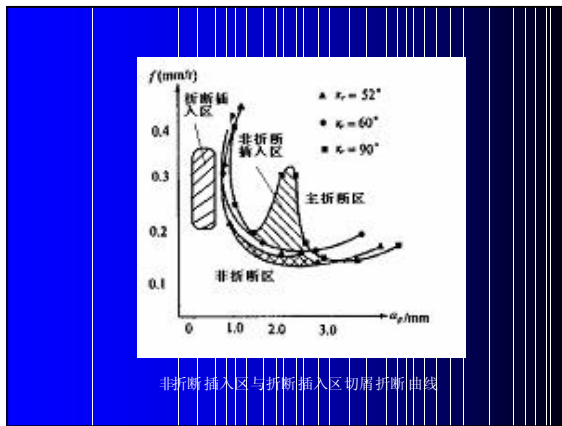
提出切屑主折断区与非折断插入区、折断插入区的形成机理，从宏观上解决了切屑控制问题。



切屑折断曲线图



切屑类型分布图



(3) 开发三维断屑槽型优化技术

国际上刀具槽型发展主流：三维复杂槽型

关键技术内容归纳如下：

- 1) 典型几何单元断屑效应研究及其优化技术的开发  
非直槽单元：曲线刀单元；  
凸曲面单元：凹曲面单元。
- 2) 典型几何单元组合综合断屑效率研究及其优化技术的开发

在关键技术开发基础上，开发三维波浪形曲面槽型三角形车刀片。

波浪形凹曲面、凸曲面  
三维复杂槽型车刀片

开发的三角形车刀片与

某公司刀具断屑槽型界限

刀片符号	极限切削速度 (m/min)	极限切削力 (N)	切削量 (mm)	平均价格 (元)
尖顶刀片	0.05	0.8	64	100
圆弧刀片	0.05	0.8	52	100
开顶刀片	0.05	0.8	104	20

与国外刀片断屑性能、价格比较

断屑技术研究国内外概况

国内：

成都工具研究所、大连理工大学、华中科技大学、北京理工大学、四川大学、重庆大学、东南大学、南京航空航天大学、大连交通大学等单位进行了一系列的研究工作。

1995年以来，哈尔滨理工大学在连续三个国家自然科学基金资助下，出版专著4部，发表学术论文120篇，其中断屑部分占国内同类研究论文总数的70-80%。

**国际**

E.K.Heurijver(美)、奥岛启式、中山一雄(日)、A.M.Вулъф(原苏联)、W.Grzesik(英)、H.Hentze、J. Shinozuka、C.Spaans、I.S.Jawahir(美)等学者进行了一系列有成效的工作。

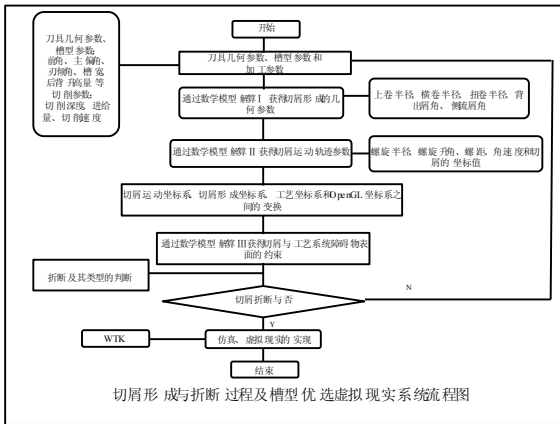
其中，处于代表性地位的国家、学者和单位如下表所示

年代	国别	代表人物	研究内容
60、70、80	日本	中山一雄教授	二维切屑、三维槽型的研究
90	美国	Jawahir教授	二维切屑、三维槽型及三维槽型断屑的研究
	中国	徐东河、江大学	
21世纪初	中国	徐东河、江大学	主切削屑、三维复杂槽型断屑的研究

## 2、切屑形成与折断过程的仿真与虚拟现实技术

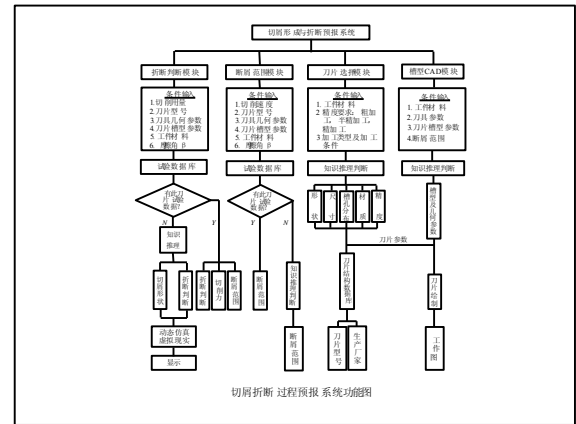
## 主要内容

- 1、建立切屑形成与折断过程的虚拟现实环境
- 2、建立切屑形成与折断过程的虚拟现实系统
- 3、根据不同的屑型优选车刀片槽型



## 3、断屑预报技术及其系统的开发

- (1) 问题：三维槽型及切屑形成折断过程的复杂性。
- (2) 传统刀片槽型开发技术：研究—试验—初定型—做模具—压制刀片—试验—生产考验—最终定型，需半年以上。
- (3) 解决方法：仿真、虚拟现实、可视化技术：切屑形成与折断过程的预报系统。
- (4) 效果：缩短刀片槽型的开发周期；传统槽型优化技术的突破；切屑的有效控制。



## 预报系统国内外研究的概况

### 国内:

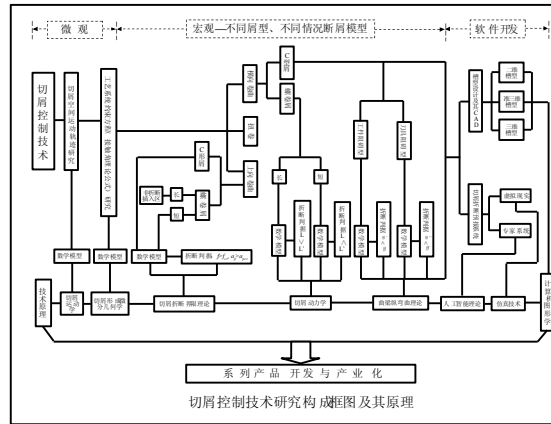
国内学者在切削成形、折断过程仿真、断屑预报等方面做了一些研究工作，但尚未形成预报系统应用于生产。

### 国外:

国外学者在切削成形、折断过程仿真、断屑预报等方面做了一些研究工作，其中，以美国肯塔基大学Jawahir教授的工作较为突出。

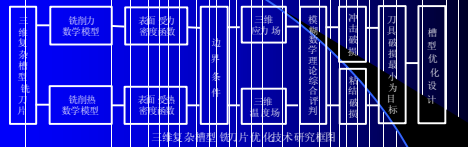
Jawahir教授在美国通用汽车公司资助下，基于大量实验，建立数据库，采用模糊数学的方法进行断屑预报，但没有被采用。

哈尔滨理工大学在系列断屑数学模型及槽型优化技术的基础上，建立的预报系统被美国福特公司采用，在其全球网络上运行，已形成福特汽车公司制造自动化生产中的技术规范。该公司认为，此预报系统比采用数据库及3D-Wave有限元分析方法具有更多的优点。

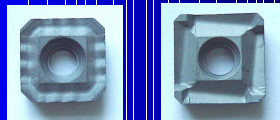


## 第二部分 槽型优化技术

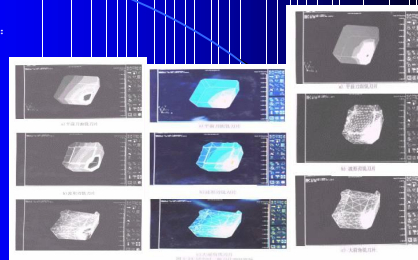
### 1 三维复杂槽型铣刀片 优化技术



在上述关键技术研究基础上，开发了三维复杂槽型方形铣刀片：



平前刀面铣刀片：



切入时三种铣刀片的温度场  
切削时三种铣刀片的温度场  
主槽型铣刀片应力场

开发的三维复杂槽型铣刀片比修整的平前刀面铣刀片切削力降低2.0%左右，切削热降低1.0%~5%，刀具寿命提高5.0%以上。

### SCI, EI收录部分论文

序号	论文名称	发表刊物	发表年份
1	Research on Dynamic Forming of Chip's Path in Virtual Reality Environment	Research in Engineering Materials	2008(10) SCI收录
2	A Rise in Temperature by Moving Radial Sources of Heat on the Rake Face for the Wave-edge Milling Process	Key Engineering Materials	2008(10) SCI收录
3	Cutting Temperature and Tool Wear of Hard Turning Hardened Bearing Steel	Journal of Materials Processing Technology	2008(9) SCI收录
4	Experimental Study on Hard Turning Hardened GCr15 steel with PCBN Tool	Journal of Materials Processing Technology	2008(9) SCI收录
5	Internet-based Optimization and Choice of Insert Grooves for Face-milling	Journal of Materials Processing Technology	2008(9) SCI收录
6	Bonding of CVD Diamond Thick Film Using an Ag-Cu-Ti brazing alloy	Journal of Materials Processing Technology	2008(9) SCI收录
7	A Study on Chip Breaking Limits in Machining	Machining Science and Technology (英译)	1998(1) EI收录
8	Adhering Wear Mechanism of Cemented Carbide Cutter in the Interruptive Cutting of Stainless Steel	Wear (英译)	1998(214) SCI收录
9	Tool Damage Analysis Based on Imaging	Proceedings of the 1998 Conference on Automated Optical Inspection for Industry	1998(9) EI收录
10	Automated Inspection of Chip type using image analysis method	Proceedings of the 1998 Conference on Automated Optical Inspection for Industry	1998(9) EI收录

11	A Study on Formation and Breaking of C-type Side-curl Dominated Chips	ASME'95	1995	10	收录
12	Mathematical Model of Milling Temperature ASD Temperature Field Analysis for Three-Dimensional Complex Groove Milling Inter.	机械工程学报, 英	2001	12	收录
13	On the Mechanisms of Dry Cutting GCr15 Bearing Steel with Different Hardness	机械工程学报, 英	2001	12	收录
14	Wear and Life of PCBN Tools When Dry-Cutting Bearing Steel GCr15	机械工程学报, 英	2001	12	收录
15	Cutting Temperature of Tempering Bearing Steel GCr15 Cut by PCBN Cutter	机械工程学报, 英	1999	10	收录
16	Forecast of Breaking Length of Side-Cutting Short-spiral Chips	机械工程学报, 英	1999	10	收录
17	切削折断界限的理论研究	机械工程学报	2001	12	收录
18	切削空间运动轨迹及其约束方程的研究	机械工程学报	2001	12	收录
19	形成侧向上向弯曲非对称插入区屑理论研究	机械工程学报	2001	8	收录
20	波形刃铣刀片的开发及长寿命刀具模型	机械工程学报	2000	5	收录
21	侧齿干式切削GCr15轴承钢研究	机械工程学报	2000	3	收录
22	侧向卷屑切削折断数学模型及切削研究	机械工程学报	1997	1	收录
23	侧向卷屑切削折断数学模型与切削研究	机械工程学报	1996	6	收录

## 三维复杂槽型铣刀片优化技术研究的国内外概况

以色列的 R. Wertheim, A. Satran, 美国的 B. Ghahramani, Z. Y. Wang, 中国的马乃太, 加拿大的 P. Lee 和 Y. Altintas 等人, 新加坡的 H. Q. Zheng 等人, 日本的井原透、印井 英治 等人, 意大利的 G. E. D'errico 等人对铣削力、铣削温度以及应力场、温度场进行了大量研究工作。但以上理论分析和实验研究多数是针对平面刃面直线刃铣刀片进行的。然而, 对三维复杂槽型铣刀片的三维应力场和温度场及其综合的物理学数学模型的优化技术研究在国内外尚少。根据最新, 此方面研究国内外文献有41篇, 其中39篇是哈尔滨理工大学及其合作者在连续两个国家自然科学基金项目支持下发表的。

## 2、采用基于网络的 异地协同设计、协同制造技术

## 3、准三维、三维、复杂三维槽型系列铣刀片的开发

(1) 准三维封闭槽可转位铣刀片

这种槽型是通用铣削槽型, 显著的特点是带有圆角倒角的圆角过渡刃, 增强了刀尖强度, 防止刀尖断裂, 延长寿命, 和平刀片相比, 降低了切削力, 分屑效果好, 有效控制了切屑流向。加工塑性材料工件效果更为显著。

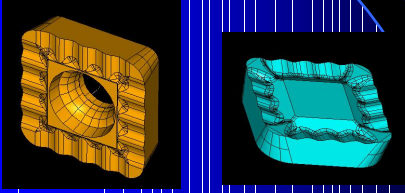
(合计 1 种槽型、3 个品种、17 种规格)①②

序号	刀片型号	名称	刀片材质
1.	SPCR2031Z-10	侧向槽铣刀片	YT15P
2.	SPCR2031Z-10	侧向槽铣刀片	YG613
3.	SPCR2031Z-10	侧向槽铣刀片	ZK30
4.	SPCR2031Z-10	侧向槽铣刀片	ZK30
5.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZK30UF
6.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZK30UF, 物理涂层
7.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZP20, Ti 涂层
8.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZP20, 物理涂层
9.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZP15T, Ti 涂层
10.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	ZP15T, 物理涂层
11.	SPCR50424-5	侧向槽铣刀片	YG613
12.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZK30UF
13.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZK30UF, 物理涂层
14.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZP20, Ti 涂层
15.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZP20, 物理涂层
16.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZP15T, Ti 涂层
17.	SPCR5043Z-10	侧向槽铣刀片	ZP15T, 物理涂层

用于立铣刀的封闭槽端刀片、侧刀刀片

(2) 波形刃可转位刀片

这种槽型刀片在粗的切削条件下, 和平面刀片相比切削力大大降低。实验过程中, 观察到: 波形刃刀片在背吃刀量  $a_p = 2.5\text{mm}$  时, 切削力明显小于平面刀片, 其切削力更小, 与波形刃本身的切削过程特点相吻合。切削的屑形在同等切削加工条件下, 波形刃屑形为短螺旋卷, 是比较理想的屑形。而平面刀片的屑形基本上都是大C型卷, 这种屑形容易崩屑, 不利于清理打扫。

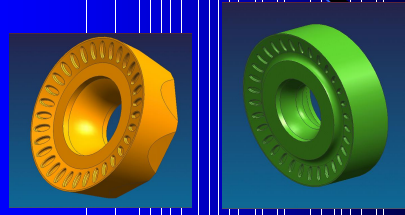


(合计 1 种槽型, 2 个品种, 11 种规格)

序号	刀片型号	名称	刀片材质
1.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZP1ST, 物理涂层
2.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZP1ST, Ti 涂层
3.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZP20, 物理涂层
4.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZP20, Ti 涂层
5.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZK20UF
6.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	ZK20UF, 物理涂层
7.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	YG13
8.	SFCU150424-6 (SFCU150424-ZK)	波型刃刀片	YG13, 物理涂层
9.	SFCU150424	波型刃刀片	ZN30
10.	SFCU150424	波型刃刀片	YT798
11.	SFCU150424	波型刃刀片	YG13

(3) 车削用锯齿刀片

最大特点: 刀片的前刀面设计为放射状分布的长椭圆齿状槽型, 具有减少摩擦力和减振的作用。

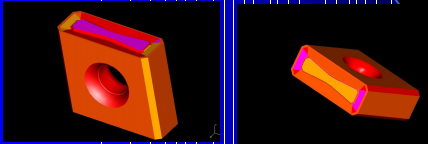


(合计 1 种槽型, 4 个品种, 5 种规格)

刀片型号	名称	刀片材质	槽型
立装双槽型-1.5	双槽型可转位刀片	YG13	1.5
立装双槽型-1.5	双槽型可转位刀片	YG13	2
立装双槽型-1.5	双槽型可转位刀片	YG13	3
立装双槽型-1.5	双槽型可转位刀片	YG13	4
立装双槽型-1.5	双槽型可转位刀片	YG13	5

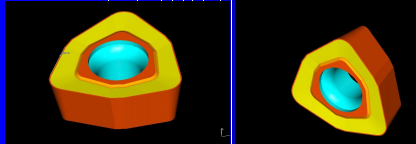
(4) 立装双槽刀片 (1 种槽型, 1 个品种, 2 种规格)

该刀片用于槽铣刀, 具有  $9^\circ$  或  $12^\circ$  前角, 大大减少切削阻力; 双槽型对排屑具有导向性, 改善切削性能, 提高加工表面质量。



(5) 凸三角型余槽高效刀片 (1 种槽型, 1 个品种, 1 种规格)

这种刀片的特点: 小切深进给, 高效率切削加工, 最大进给可过  $1.5\text{--}3\text{mm}/\text{Z}$ ; 具有前角, 凸三角形的形状, 适用于形成较小的主偏角 (小于  $12^\circ$ ), 切削阻力经分解, 切削阻力较大, 轴向阻力较小, 因此, 可以进行大进给加工, 非常适合大型型腔模具的加工。



# 三、应用

## 1、系列产品开发

在机理研究与关键技术研究的基础上，成功开发了具有自主知识产权的产品：

- (1) 系列刀片产品  
7大系列、11种槽型、250余个规格
- (2) 刀具产品：  
4大类、31个品种、100个规格
  - ① 超硬刀具产品：10个品种10个规格
  - ② 数控刀具产品：9个品种76个规格
  - ③ 重型刀具产品：3个品种3个规格
  - ④ 特殊刀具产品：9个品种11个规格
- (3) 三维形貌测量仪（槽型测量与机理研究用）
- (4) 断屑预报系统（英文版）
- (5) 断屑预报系统（中文版）



## 2、申请 获得的专利

国别	申请号	专利号	专利名称
中国	992 0371.4	ZL 992 0371.4	轿车用三维槽型刀片
中国	21 992 017 98.6	ZL 992 017 98.6	重型 粉末涂层 涂层刀具（实用新型专利）
中国	21 992 2466 5.5	ZL 992 2466 5.5	可转位刀片（实用新型专利）
中国	2 001 0 0444.2	ZL 2 001 0 0444.2	车削用可转位刀片（国家发明专利）
中国	2 001 0 046 01	ZL 2 001 0 046 01	三维槽型可转位方形刀片（国家发明专利）
中国	2 001 0 0461.6	ZL 2 001 0 0461.6	三维异形曲面槽型可转位三角形刀片（国家发明专利）
中国	2 002 011 500.2	ZL 2 002 011 500.2	双合金刚玉砂轮（实用新型专利）
中国	2 002 011 58.3	ZL 2 002 011 58.3	准三维密封槽型 弧峰刀片 过刃可转位刀片（实用新型专利）
中国	2 002 011 99 0	ZL 2 002 011 99 0	铜合金 卵石粗磨刀片（实用新型专利）
中国	2 002 011 3 98	ZL 2 002 011 3 98	断屑信号反馈器（实用新型专利）

## 3、研究成果的转化、生产、应用、推广

序号	产品名称	成果转化、生产单位	产品应用、推广单位
1	系列刀片产品	哈尔滨理工大学 自贡硬质合金有限责任公司 中国第一重型机械集团公司 哈尔滨汽轮机有限责任公司 哈尔滨铸机厂有限责任公司 哈尔滨铸钢件有限公司 哈尔滨铸钢件有限公司 哈尔滨铸钢件有限公司	中国第一汽车集团公司 中国第一汽车集团公司 中国第一重型机械集团公司 中国第二重型机械集团公司 哈尔滨汽轮机厂有限责任公司 哈尔滨汽轮机厂有限责任公司 哈尔滨铸钢件有限公司 哈尔滨铸钢件有限公司 哈尔滨铸钢件有限公司
2	三维形貌测量仪	哈尔滨理工大学 哈尔滨量具刃具集团有限责任公司	重庆铃汽车公司 成都无缝钢管公司 成都量具刃具股份公司 牡丹江康阿机械厂

序号	产品名称	成果转化、生产单位	成果应用、推广单位
3	英文版新屑预报系统	哈尔滨理工大学 美国伍工德理工学院	美国福特汽车公司全球子公司 (全球网上运行)
4	中文版新屑预报系统	哈尔滨理工大学 航天数控机床公司	中国第一汽车集团工艺装备有限公司 中国第一汽车集团公司长春轻型车厂 黑龙江省模具技术开发中心 哈尔滨东安工具有限公司 哈尔滨东安汽车动力股份有限公司 齐齐哈尔第二机床厂设计院 齐齐哈尔第一机床厂 哈尔滨量具刃具厂 哈尔滨风华机器厂 (同城网上运行)

### 获多项国家项目支持

国家自然科学基金、国家科技攻关项目	切削刀具失效机理研究、系列产品开发及产业化	国家科学技术进步二等奖
国家自然科学基金项目	超硬刀具材料制备及性能优化的研究	中国机械、窑科学技术一等奖
国家自然科学基金项目	切削屑成形机理及控制的基础理论	
机械工业部科技攻关项目	车削切削力建模的研究	国家发明二等奖
重大国际合作项目	切削屑成形机理与切削力模型与切削技术的研究	
国家“九五”科技攻关项目	工艺参数优化专家系统研制	
国家“八五”科技攻关项目	切削屑成形机理研究	科技进步二等奖
国家“八五”科技攻关项目	特殊难加工材料切削加工技术的研究	科技进步二等奖
国家“八五”科技攻关项目	切削力模型研究	科技进步二等奖
国家“八五”科技攻关项目	切削屑成形机理研究	科技进步二等奖
黑龙江省科技攻关项目	切削屑成形机理及切削力研究	科技进步二等奖
哈尔滨部科技攻关项目	切削屑成形机理及切削力研究	科技进步二等奖
机械工业部科技攻关项目	切削屑成形机理及切削力研究	科技进步二等奖

## 2004年 国家科学技术进步二等奖

**项目名称:** 切削控制及刀具失效机理研究、系列产品开发与产业化

**承担单位:** 哈尔滨理工大学  
自贡硬质合金有限责任公司  
中国第一重型机械集团公司  
哈尔滨电机厂有限责任公司  
哈尔滨量具刃具集团有限责任公司

# 哈尔滨理工大学

李振加

# 谢 谢!