

飞机结构件快速数控加工 编程系统*

Rapid NC Programming System for Aircraft Structure

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 赵丹 陈树林 王碧玲 杜宝瑞
北京航空航天大学机械工程及自动化学院 郑国磊



赵丹

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司技术员,参与多项国家科技重大专项在研课题,主要从事数控加工工艺与快速数控加工编程技术研究。

随着飞机性能要求的逐步提高,飞机结构件逐渐向整体化、大型化、复杂化的方向发展,导致采用通用的软件进行数控编程存在周期长、效率低、质量差等问题,已成为制约数控高效加工及飞机快速研制的瓶颈之

本文提出了快速数控编程系统框架及其关键技术,并针对飞机结构件的结构及其工艺特点,建立并开发一套集特征自动识别、刀具与切削参数自动选取、工艺方案自动规划、加工单元自动构造与优化等核心技术的快速数控编程系统。

一。究其根源,主要有以下两个方面:一是工艺准备及编程技术智能化程度低,过分依赖于工艺人员在特定生产环境下长期积累的经验知识;二是编程过程自动化程度低,需要通过人机交互方式设置各种加工选项和加工参数。因此,研究和开发一套适用于飞机结构件的快速数控编程系统,以提高数控加工程序编制的自动化水平已成为当务之急。其中,加工特征识别、刀具选取、特征优化排序、加工参数优化选取、刀具运动轨迹计算等是快速数控加工编程的关键技术。近30年来,国内外专家学者对特征识别、刀具尺寸选取以及加工特征排序等技术已展开研究并取得一系列成果,但未达到完全实用化的程

度,更不适用于飞机结构件的加工。本文针对飞机结构件形状及其加工工艺^[1]特点和要求,提出了基于广义槽分层求交的加工特征自动识别方法;同时,以获取的加工特征的几何参数为依据,以整体加工时间最短为目标,建立刀具优化选取模型;加工过程中,由于结构件加工特征数量大、工步多、金属去除量大而极易产生变形,因此在该系统中应用基于知识推理的加工特征自动排序方法,并结合“数控加工资源与知识库”,运用人工智能和专家系统等理论和技术对加工工艺进行分段并提出加工单元构建思想,使飞机结构件快速数控加工编程系统具备较高的自动化加工编程能力。

* 国家重大科技专项(2012ZX04010051)资助。

系统框架

系统功能架构如图 1 所示,包含模型预处理、特征识别、工艺资源选取、工艺方案规划、加工单元构造及优化排序、加工操作生成和后置处理等模块。这些功能之间以及子功能间存在着调用和数据传递关系,自动计算流程如图 2 所示。系统集成了“数控加工资源与知识库”,运用知识推理,对各大功能模块服务。其基本功能归纳如下:

- 模型预处理: 主要用于删除模型中某些影响识别的结构以简化模型,如竖直孔(直径较大的孔除外)、横向孔和斜向孔,这些孔通常是飞机壁板精加工完成后采用钳工加工。
- 特征识别: 在零件和毛坯三维模型的基础上,提取与计算数控加工刀具轨迹相关的几何形状,即加工特征信息,包括确定加工区域和进刀方向等,为后续工作提供几何依据。
- 工艺资源选取与工艺方案规划: 根据加工要求和工艺知识将加

工工艺分段,确定各个阶段的加工方法、加工余量及各个加工特征在各个阶段中使用的刀具和切削参数,配合专家知识完成加工顺序安排。该过程离不开“数控加工资源与知识库”的支撑。

- 加工单元构造及优化排序: 加工单元表明了一定的待加工区域,又指定了加工该几何区域的加工方法,是数控加工工艺过程中的最小组织结构。对每个工步下的加工单元进行优化排序以符合工艺及最短路径要求,并将序列化后的加工单元与工艺方案相融合生成数控加工链。
 - 加工操作生成: 将数控加工链映射到 CATIA 数控加工模块,一个加工单元实例化一个加工操作,进而完成加工刀轨计算。
 - 后置处理: 按照给定的控制系统格式将刀轨文件转换为 NC 代码,最终完成零件数控程序的自动生成。
- 用户交互设定零件模型、毛坯模型和加工坐标系,作为快速数控加工编程系统的输入,之后系统对零件模

型进行预处理和加工特征自动识别,并提取加工特征所包含的加工面,从而为选择合理刀具、安排加工顺序及计算刀具轨迹等提供几何依据。系统将在加工特征识别的基础上,以“数控加工资源与知识库”为数据支撑,完成工艺流程设计,包括确定加工单元和加工方法,选取加工刀具和切削参数,安排加工先后顺序及分配加工余量等。由于通过工艺流程设计得到的只是包含几何和非几何加工信息的加工单元,并没生成数控程序,因而需要将加工单元与加工操作关联,通过实例化生成数控程序及刀轨。后续对刀具轨迹可进行编辑修改及仿真模拟,最终将程序经后置处理转换成机床 NC 代码。

关键技术

(1) 加工特征识别。本系统结合航空复杂结构件的特点创造性地提出了分层求交的特征识别技术^[2-3]。将分层加工思想和技术引入到加工特征的识别过程中,并提出广

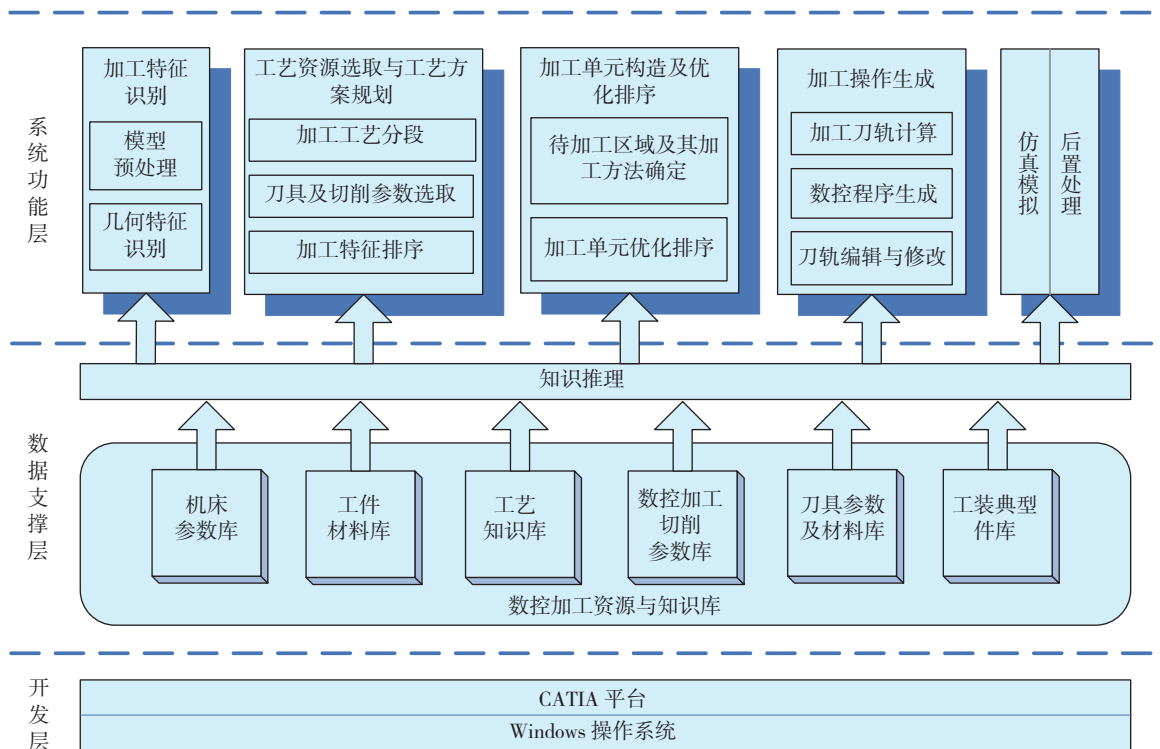


图1 飞机结构件快速数控编程系统结构

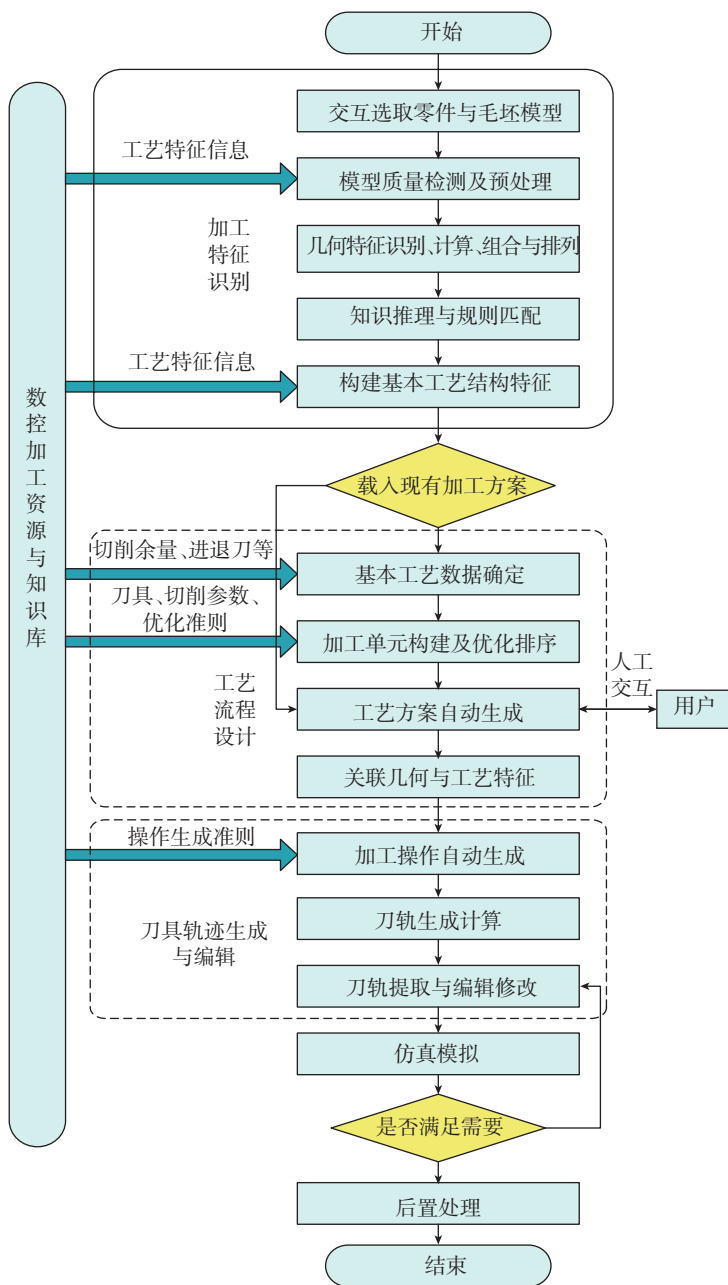


图2 流程图

义槽概念,以广义槽来统一表示最常见的凸台和槽等加工特征。通过创建分层平面、计算分层平面与零件间交面和识别各层交面上的区域轮廓并判断这些轮廓间的包含关系,来提取广义槽轮廓和建立广义槽树状模型,进而判断不同的特征类别。系统由零件设计模型和毛坯模型自动获取加工特征模型结果,从而为实现自动获取加工区域、设置加工几何参数以及后续工艺流程设计和刀具轨迹

计算等提供前提和依据。

(2) 刀具选取。从零件和毛坯模型中提取和计算加工特征的截面形状、面积及最小曲率半径等几何特性,并以此为刀具选取的几何依据,在预留一定精加工余量且保证不发生干涉的前提下,首先确定小刀具直径,然后根据特征整体加工时间最短的原则,优化判断是否需要采用2把刀具以及确定所选用的大刀具直径。系统应用了综合工艺知识与几何特

性的刀具自动选取技术,针对飞机结构件的自动加工工艺特点,首先给出了加工刀具最小通道的概念,然后基于修正后的 Voronoi Mountain 分别设计了计算开槽和闭槽最小通道的计算算法^[4];最后,以广义槽的最小通道为基础,结合刀具的切削面积和选刀的工艺知识,构建了粗加工优化选刀迭代算法^[5]。应用此选刀算法,可实现大小刀具组合选刀,并达到较高的加工效率。

(3) 工艺方案与数控加工链生成。工艺方案的表示及构建^[6]是实现自动编程的关键前提,系统将在加工特征识别的基础上,以“数控加工资源与知识库”为数据支撑,基于知识推理完成工艺方案和流程设计,其主要内容包括确定加工单元和加工方法、选取加工刀具和切削参数、安排加工先后顺序^[7]及分配加工余量等。工艺方案仅为宏观加工工艺流程,为深度表达工艺过程,明确每把刀具的加工单元,为此,提出并建立了数控加工链模型,即通过工艺流程设计得到的只是包含几何和非几何加工信息的加工单元,需要将加工单元与加工操作关联,通过实例化生成数控程序。系统提出了加工链模型自动构建原理及技术,首先,给出了加工域、加工单元和加工链等一系列概念,利用这些概念对飞机结构件的数控加工及其过程进行精细化描述。然后,以广义槽模型和工艺方案模板为基础,设计了通过遍历工艺方案中的机床、工位、工序、工步、程序及刀具节点来计算加工单元和构造加工链模型等关键算法^[8]。

(4) 加工单元构建。在工艺方案模型及加工链模型基础上,提出以残留模型为基础且由工艺方案驱动的加工单元自动构造原理^[9],其主要包括残留模型计算,操作元计算及加工操作选择等。首先,通过计算当前工步加工前的残留域,并依据几何推理建立刀具与广义槽特征间的关联

关系,建立刀具与域元的关联关系;然后,在残留域基础上计算操作元,根据实时补加工原理对操作元进行分类,选取与工步对应的加工操作,计算加工操作参数集,最后由操作元、加工操作类型及加工操作参数集构建加工单元。

系统开发及应用

对图3所示的复杂航空结构件,应用快速数控编程系统,界面如图4所示,共有6个属性页,分别为:预先设定、零件预处理、特征识别、加工设定、加工方案和前后置处理。预先设定主要是设置要进行数控加工编程的零件及其毛坯和加工坐标系,方法是通过编程人员交互选取。预处理主要是指对孔的预处理,该零件有水平孔0个,斜孔0个,竖直孔5个,以及对这些孔的处理方式。在零件预

处理之后,特征识别界面如图5显示了该零件的特征列表,包含有外轮廓、31个槽、0个闭角、0个开角、14个筋端面和0个内陷等,界面下部是零件和特征预览区,编程人员可查看识别结果。当在特征列表区点击某个特征时,在对话框预览区域及CATIA图形区域会高亮显示

该特征所包含的面。在加工设定属性页下主要是完成粗加工、半精加工及精加工阶段的一些参数设置。加工方案属性页用于工艺流程生成和进行工艺流程编辑与修改设置。单击“加工工艺树生成”按钮,系统会

根据识别的特征信息和设定的加工方案,自动生成数控加工工艺流程如图6,左侧区域采用树状结构显示零件的工序和工步,包含有7层节点,分别是零件、机床、加工面、工序、工步、程序和加工刀具。系统提供对各层节点的编辑修改功能,如编辑、删除、移动、合并、新建以及插入工序工步等操作。右侧用于设置各个加工阶段的加工策略,如划分加工区域、加工顺序以及加工方向。前置处理是根据零件的工艺流程自动生成数控程序。后置处理则是将数控程序转换成机床代码。数控程序和刀具轨迹见图7。

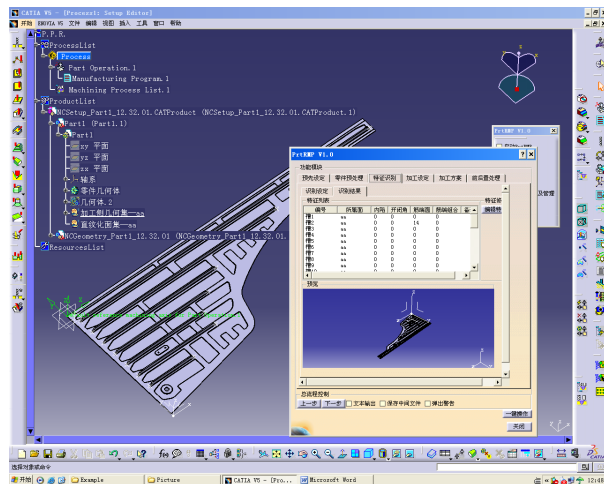


图5 特征识别结果

编制同样零件的数控加工程序,对于快速数控加工编程系统其交互输入和设置只需一次,而常规数控加工编程系统,除了机床、加工坐标系等需设置一次,其他参数则是随加工工步数而定,通常有多少个加工工步就需要有多少次交互输入,并且这些参数的选取依赖程编员的经验。据统计,原来编制壁板零件的数控加工程序的时间少则几天、半个月,多则一两个月,而采用本系统编制壁板零件的数控加工程序一般不超过5天,并且编制的数控加工程序满足飞机壁板实际数控加工要求。

图3所示的壁板零件,采用常规方式编制数控程序大约需要1天的时间,而采用本系统用了0.5h左右。表1对快速编程和常规编程做了统计对比,目前,由快速数控编程系统对该零件自动编程后,需用1h左右对自动编程结果进行人工交互修改。无论如何,可以看出,使用快速数控编程系统能够极大的提高编程效率,而且对于加工效率的提高,考虑不同的零件结构以及材料,其实际的加工效率能够提高20%以上。

1 应用分析

通过近百件航空结构件的测试应用,系统相对于常规人工手动程序编制有以下的优点:

(1) 程序编制的效率高。普通

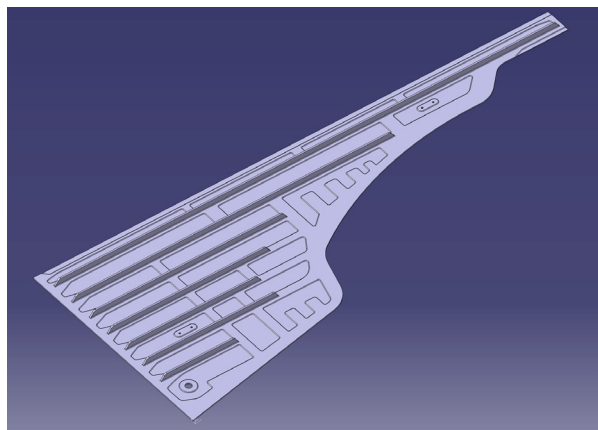


图3 结构件

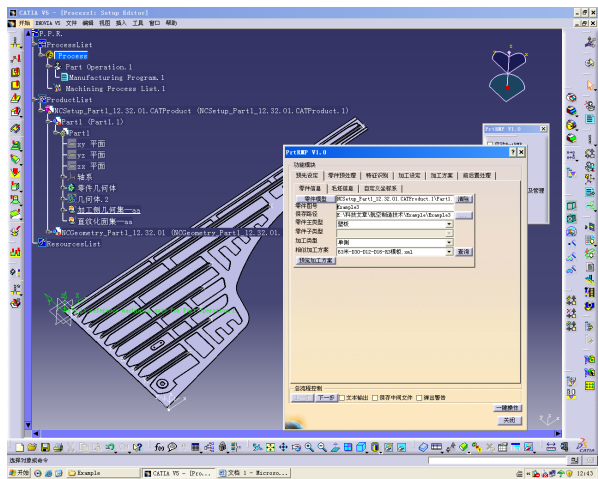


图4 系统主界面

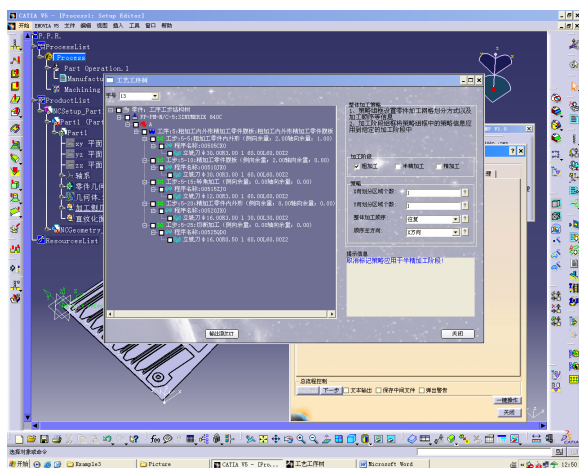


图6 加工工艺树

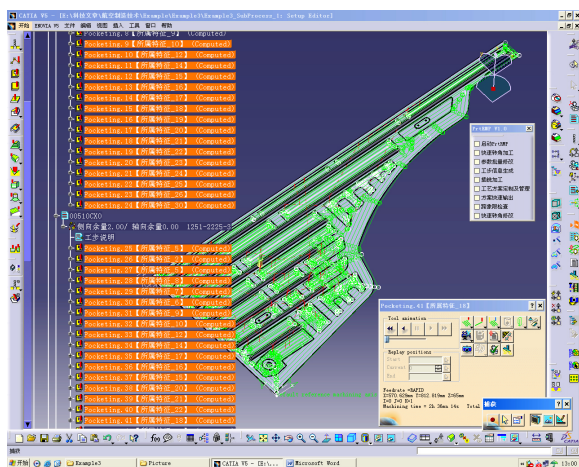


图7 数控程序和刀具轨迹

结构件的编程时间在 30~60min, 较复杂零件的编程时间在 1~4h, 最大零件的编程时间在 30~40h, 编程效率普遍提高 50%~80%。

(2) 编程工作量显著减少, 大幅降低劳动强度。对常规编程方式需点击鼠标上万次可完成的一个结构件编程, 使用快速数控编程系统只需几十次的鼠标点击。

(3) 数控程序质量高。同种类型的零件, 系统编制的零件加工程序的顺序及方法是相同的, 而人工编程则各自依靠个人经验, 相互间差距较大。

(4) 切削参数修改方便。一般情况下, 人工编程对于转数和进给的更改是方便的, 但是对于切深及切宽的更改是很难于实现的, 因为更改切深和切宽, 相当于重新编制程序, 需要的周期长。而采用系统编程, 则仅需要将加工方案中的刀具切削参数更改后, 重新进行系统编程, 即可得到新的程序, 因此易于实现。

(5) 能够建立机床—刀具切削参数库。切削参数库是机加企业很重要的一个数据库, 是否能够形成有效的切削参数库, 代表一个企业的加工能力水平。如果程序编制不再是一种负担, 那么, 工艺人员可将更多的精力放置在切削参数的优化上, 这样才能够建立一套有效的机床—刀具切削参数库。

结论

当前, 应用 CATIA 平台对飞机结构件进行交互式的数控编程, 这种

编程方式存在编程过程繁琐、效率低、程序质量难以保证等问题。为此本文提出了快速数控编程系统框架及其关键技术, 并针对飞机结构件的结构及其工艺特点, 建立并开发一套集特征自动识别、刀具与切削参数自动选取、工艺方案自动规划、加工单元自动构造与优化等核心技术的快速数控编程系统。通过大量应用, 证明该系统可实现飞机结构件的快速编程, 显著提高数控编程效率及质量。

参考文献

[1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

[2] Yu F F, Zheng G L, Ren W J. Slicing recognition of aircraft integral panel generalized pocket. Chin. J. Aeronautics, 2008, 21: 585.

[3] 杜宝瑞, 陈树林, 初宏震, 等. 飞机复杂构件加工特征识别方法, 中国专利, CN 101763069 B, 2013-03-14.

[4] 初宏震, 饶有福, 杜宝瑞, 等. 基于变异 Voronoi Mountain 的飞机复杂构件粗加工刀具选取方法, 中国专利, CN 101763048 A, 2010-06-30.

[5] Rao Y F, Zheng G L, Du B R, et al. Optional roughing tool diameter sequence determination for pocket: integrated geometric characteristics and processing rules, Applied Mechanics and Materials, 2012(217/219): 2107-2112.

[6] 史静. 飞机结构件数控加工方案快速生成系统研究与开发[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2010.

[7] Chen S L, Yu F F, Zheng G L, et al. Machining feature sequencing for aircraft structural parts, Advanced Materials Research. 2012(591/593): 361-364.

[8] Chen S L, Zheng G L, Du B R, et al. Chu: process scheme based nc machining chain model for aircraft structural parts. Applied Mechanics and Materials. 2013(246/247): 994-998.

[9] Chen S L, Zheng G L, Zhou M, et al. Process-scheme-driven automatic construction of NC machining cell for aircraft structural parts, Chin. J. Aeronautics, 2012(23): 67-75.

(责编 小城)

表1 图3零件应用统计对比

系统	快速编程	常规编程
编程时间/h	1.5	8
仿真加工时间/h	2	5.4
编程效率	提高(8-1.5)/8 = 81.25%	
加工效率	提高(5.4-2)/5.4 = 62.9%	
鼠标点击次数/次	约 50	约 5000