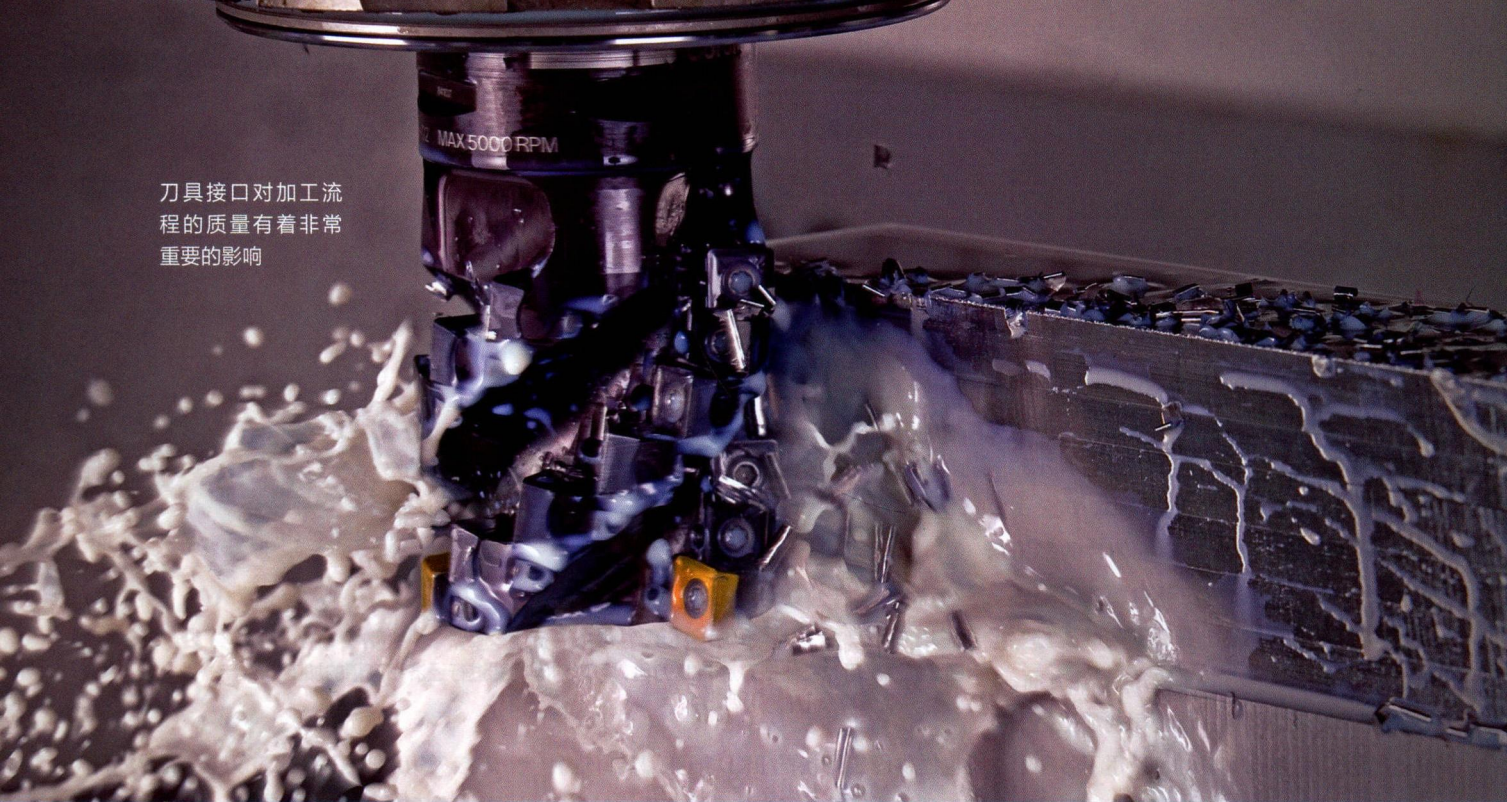


刀具接口对加工流程的质量有着非常重要的影响



刀具接口

对刀具接口弯曲性能的分析

刀具接口工作小组对车铣接口的特性及其对切削流程的影响进行了探究，在四个已经标准化了的刀具接口中，通过基准装卡系统对刀具接口的静态弯曲性能进行了对比。

文 | Christian Brecher

作为机床和刀具之间的直接连接环节，刀具接口会直接影响加工流程的效率与质量。形成加工力所需的传动力矩，可以通过刀具接口被传递到切削流程中去。由于存在生成的弯曲力矩和扭矩的影响，对接口系统具有很高的机械刚性要求。

由于主轴技术的进一步发展和设备功率的不断攀升，接口系统和装卡系统也在持续改进。除了适应全自动换刀的要求之外，目前的刀具接口正在朝着可传递力矩和提高主轴转速的方向发展。

通过对可适应各种机床设备的通用型镗刀、车刀和铣刀的追求，从各种专用型系统中得出了标准型的接口。规格为 63 的 HSK-A (DIN 69893-1)、PSC (DIN ISO 26623-1) 和 TS (DIN ISO 26622-1) 标准型

以及规格为 40 的 SK (DIN ISO 7388-1) 标准型接口系统均成为了测定弯曲性能的静态试验的焦点。

针对静态试验的模块化试验台

为了对刀具接口进行对比性的静态试验，刀具接口工作小组在 RWTH Aachen 的机床试验室 (WZL) 里采用了模块化试验台。这种试验台由于采用了可更换的主轴模型，因此可允许对各种不同的接口系统和规格进行试验。

引入力 (即通过装卡系统向刀具所施加的轴向力) 是影响刀具接口性能的一个直接影响因素。为了向所试验的接口系统施加这个给定力，对试验使用了一些特殊的参照装卡系统。该系统的特殊性在于可

对作用在刀具上的轴向力进行准确测量。对此，在没有强化机械力的情况下，即可实施装卡组合。通过一个螺母向拉杆施加的力，在没有其他常见机械强化措施条件下，被直接引向刀具上，并由膨胀测量条测得。为了获得最大的可对比性，所采用的主轴模型的外形尺寸为统一标准，唯有装卡组合的安装空间和接口的外形轮廓各不相同。

所产生的作用于刀具上的弯曲力矩由一个力度可调节的液压油缸来生成。为了测量刀具与刀柄之间的相对倾角 α ，使用了呈轴向分布的感应行程传感器。

带有平整附件的刀具接口的弯曲特性曲线如图 1 所示。通过静态弯曲力矩 M_B ，可以显示出刀具与主轴模型之间的相对倾角

α 。载荷循环连续进行，直至弯曲力矩达到 1000 N·m 为止，然后再进行卸载。这个过程进行五次，以便产生各个弯曲特性曲线。

为了实现所需的特性曲线，使用了各种不同的刀具，以便顾及到公差范围变动的影响。所采用的刀具具有最大或最小的锥体直径（在各个标准的公差范围之内）和指定的几何外形。从四个交错 90° 的位置上向刀具尖锋传递载荷，以便探测可能存在的不对称性。对于引入力、载荷方向和刀具的每一种组合，都可测得两条弯曲特性曲线。因此，每个引入力都有 24 条弯曲特性曲线，而每条特性曲线则由五个载荷循环构成。此类特性曲线以静态方式测得，第一个加载和卸载由于沉降现象原因而未能被纳入到求平均值的计算中去。

每个引入力可测得 24 条弯曲特性曲线

对于带有平整附件的刀具接口来说，首先近似直线的特性曲线（图 1，区域 1）是很有代表性的。在直线区域内，弯曲力

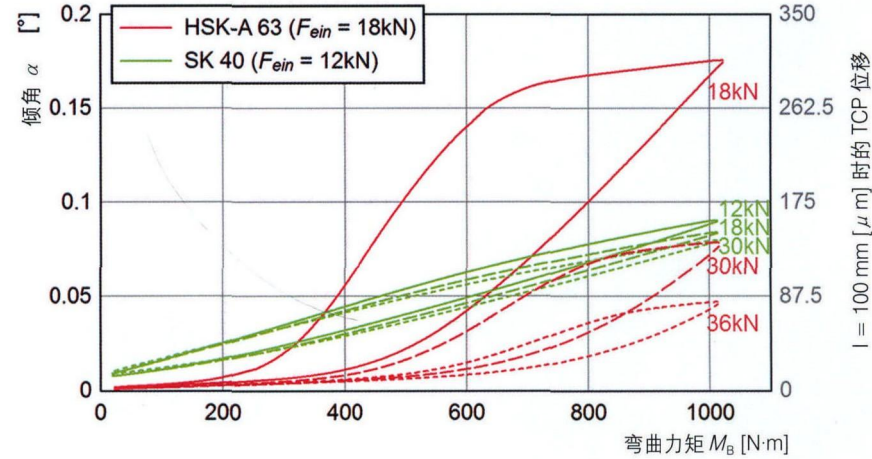


图 2 借助于基准装卡系统的 SK 40 和 HSK-A 63 型刀具接口的平均弯曲特性曲线

矩在平整附件上主要通过一个支撑力矩而被测得。在这个区域内，所给出的弯曲刚性 k_B 是一个特征数值。它是由在直线载荷区域内近似直线的坡度的倒数而生成的。这个直线区域的终点被视为是临界弯曲力矩 $M_{B, krit}$ 。从该点开始，刀具的平整附件在一侧上失去了与主轴平整附件的接触（区域 2），这种状况会降低接口的刚性并提高

特性曲线的坡度。
装卡系统和椎体连接件同样也会受力。随着载荷增加而逐渐减小的平整附件接触面会使得特性曲线逐渐呈现折弯现象。在所谓的过渡区域之后，接触状况没有太大的变化，特性曲线又重新变得几乎是直线。装卡系统的刚性和椎体连接件对整体刚性有着显著的影响。考虑到对高度刚性的要求，接口应该用于载荷低于临界弯曲力矩的场合。

低于临界弯曲力矩下使用接口

第三个常规特征值被视为是移动力矩 (M_{Ab})。这个特征值是由一个弯曲刚性直线与另外一条弯曲刚性直线的切合点来定义的。在平整附件被移动之后，第二条直线接近于几乎是直线的区域（图 2）。通过这种定义，尤其是在移动平整附件之后，通过一条直线贯穿该区域的设计，特征值 M_{Ab} 拥有很强的对装卡系统和椎体的刚性的依赖性。但是，平整附件移动的实际点却不依赖于此。因此 M_{Ab} 与实际移动并没有明显的关联性，它被标识为移动力矩的做法是有误导性的。

图 3 借助于参照装卡系统，举例阐述引入力 (F_{ein}) 对 HSK-A 63 和 SK 40 型接口弯曲特性曲线的影响。除了相对倾角之外，理论上的刀尖位移（当该位移与平整附件的间距为 100 mm 时）也可以在示意图中被读出。首先，SK 和 HSK 弯曲特性曲线的不同

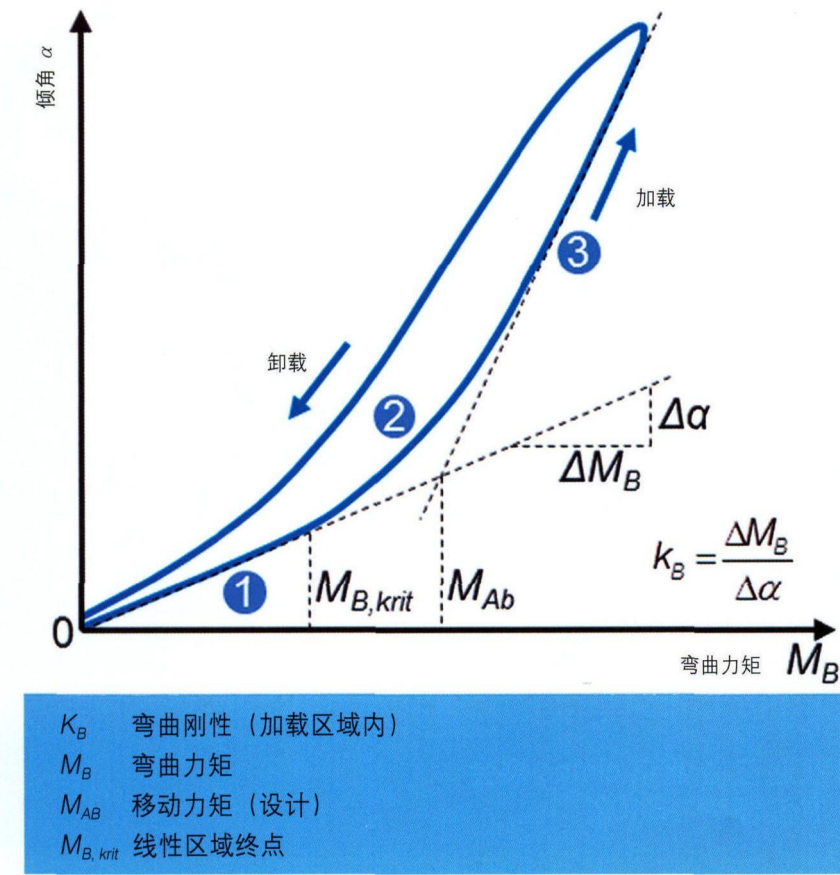


图 1 带有平整附件的刀具接口的弯曲特性曲线

形状是引人注目的。由于大倾角椎体没有可以支撑弯曲力矩的平整附件，所引入的力和力矩原则上是通过椎体连接件被吸收。通过高达 1000 N·m 检测力矩，特性曲线几乎呈现为直线，并且相对无迟滞。

引入力对弯曲特性曲线的影响

引入力的加大并不会对弯曲特性产生明显的影响。在 HSK 刀具方面，所导入的弯曲力矩首先由附加的平整附件来支撑。类似于一种螺栓连接，该系统由引入力进行预夹持。引入的力越大，平整附件的移动就越迟。线性区域的长度与引入力几乎呈现正比例关系。

当引入力上升时，HSK 弯曲刚性也随之略微加大，但是其相互关系并非正比例关系，而是弯曲刚性呈渐近线方式并趋向最大值。这种效果是以平整附件连接处的非线性接合刚性为基础。Petuelli 曾指出，

接合刚性在连接处面压强的影响下，达到一个最大值并由此达到一种饱和。从这点开始，引入力的继续增大不会导致弯曲刚性的进一步提高。

为了客观观察所试验的标准化刀具接口的系统特性，图 3 只显示出弯曲力矩最大为 500 N·m 的线性载荷区域。在对所使用的装卡系统依赖性很大的平整附件移动之后，其特性曲线区域并未在接口直接对比中得到观察。对没有力的放大情况下的基准装卡系统对比，在上部曲线图里是在引入力为 30 kN 条件下进行的，而在下部曲线图里则是在标准引入力的条件下进行。可以明显看出大倾角椎体与平整附件系统发生偏差的特性。它作为对弯曲力矩的一种反应，具有较大的倾斜度。与零位相偏差的初始数值反映出因夹持效应而在初次加载 $M_B = 1000 \text{ N·m}$ 之后的刀具的不可逆倾斜调

整状态。

常见装卡系统在夹具上具有力的放大效应

带有平整附件 (HSK 和 PSC) 的系统拥有统一的平整附件外径。在引入力同为 30 kN 的条件下，弯曲特性曲线在直线区域内的走向相类似，这是因为平整附件的支撑是至关重要的。在弯曲刚性特征值和直线区域终端方面，差异很小。根据各自的标准规定，针对 HSK-A 63 型系统的引入力为 18 kN，而针对 PSC 63 型系统的引入力则是 30 kN。如果在这种力的条件下对弯曲特性曲线进行对比的话，HSK 平整附件从主轴上开始移动的时间则会提前。与 PSC 相比，这表现为一个更小的 $M_{B, \text{krit}}$ 。

相对于基准装卡系统来说，市场上常见的装卡系统在其夹具上往往会出现力的增强的现象。由此可以改变力导入



诺威起重是全球领先的起重机制造商和服务供应商

- 先进产品设计理念
- 完善的工艺流程和严谨的质量管理
- 为用户提供质量一流、性能领先的高性价比产品

诺威核心价值观：

- 品质
- 创新
- 合作

诺威产品已应用到北欧、南美、南非、中东、东南亚等多个地区，得到客户的一致认可和信赖。

诺威起重设备（苏州）苏州有限公司

地址：苏州吴江经济开发区庞金路1288号

电话：0512-63120889 传真：0512-63120886 网址：www.novocranes.com



广告

刀具的方式，同时装卡系统的轴向刚性会因方式和制造厂商不同而有差异。此外，引入力无法得到很精确的测定或测量。图 4 对所用的基准装卡系统（统一的主轴模型、无力放大的装卡系统和特定加工的刀具）弯曲特性曲线与若干市面常见的系统进行比较。

试验结果反映出弯曲刚性的某种程度上的离散

在图 4 的下方，显示出引入力统一为 36 kN 时的弯曲特性曲线。而图的上部则显示出各种不同标准引入力条件下的刀具接口情况。针对 TS 系统，给出了一个从 36 ~ 58 kN 的阶差。而针对对比工作，可选择 48 kN 的引入力。在实际工作中，所有系统出现的引入力会因制造厂家的不同而有差异，其中有一部分也与标准引入力和这里为作比较而选定的力有着明显的偏差。出于技术条件的原因，并不可能运行每一个刀具接口系统和每一个引入力。由于 TS 系统的球体装卡机理具有一定的局限性，因此无法实现基于非力放大型的基准装卡系统的试验。试验所采用的力放大型装卡系统在曲线图里用虚线表示。

由于刀具和刀柄的公差范围处于变化之中，而装卡系统引入力的测定也不够准

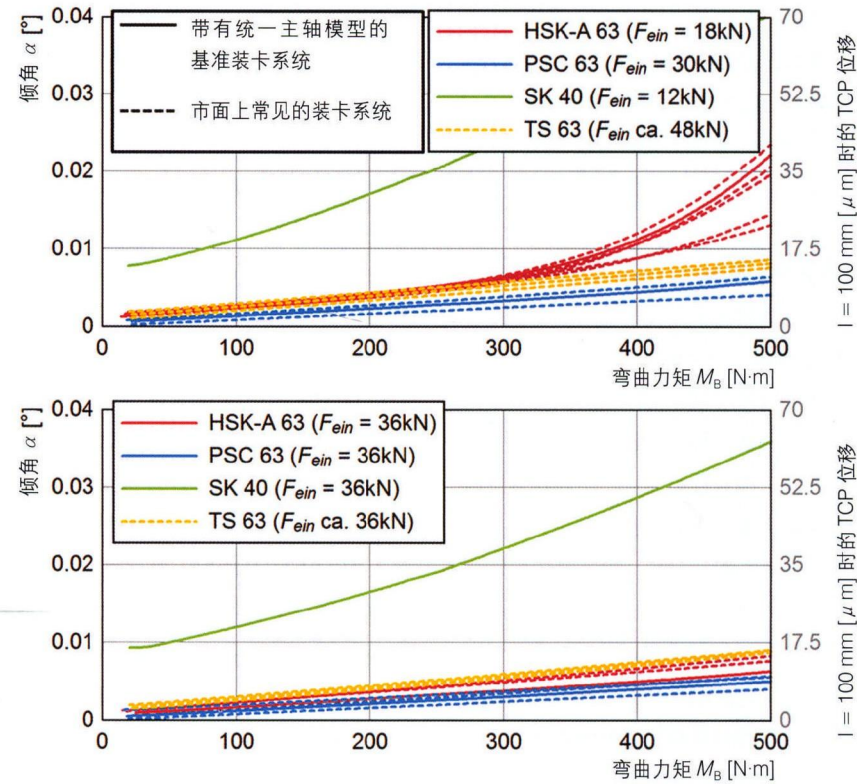


图 4 基准装卡系统和常见的装卡系统在 36 kN 引入力和标准引入力直至 500 N·m 弯曲力矩条件下的平均弯曲特性曲线

确，因此，在试验结果中存在着一定程度的弯曲刚性和线性范围长度的离散。从图 4（下方）可以看出，所试验的带有平整附件（HSK-A、PSC 和 TS）的接口在相同的引入力条件下，在线性载荷区域内的性能

是差不多的。从所试验的 TS 接口的球体装卡系统的 $M_{B, krit}$ 的求值中，可以得出与其他平整附件系统的相类似的数值。

在扭力载荷下的特性试验

根据不同的结构造型，刀具接口系统都会拥有一种各自独特的弯曲特性曲线。带有平整附件（HSK-A、PSC 和 TS）的系统因其支撑作用，而比不带平整附件（SK）的系统具有更高的弯曲刚性。前者可通过提高引入力而使得特性曲线中的直线区域按比例延长。但是，弯曲刚性则会超越引入力而以渐近线的方式趋向最大值，以至于刀具接口上很高的引入力而无法实现更大的刚性连接。在实际工作中，接口系统原则上应该在其区域内且在平整附件移动之前运行。大倾角锥体（SK）的弯曲特性曲线对引入力没有太大的影响。

除了静力特性之外，转速影响、切削特征和因换刀而导致的接口磨损等方面也将成为工作小组目前和将来研究的内容。MM

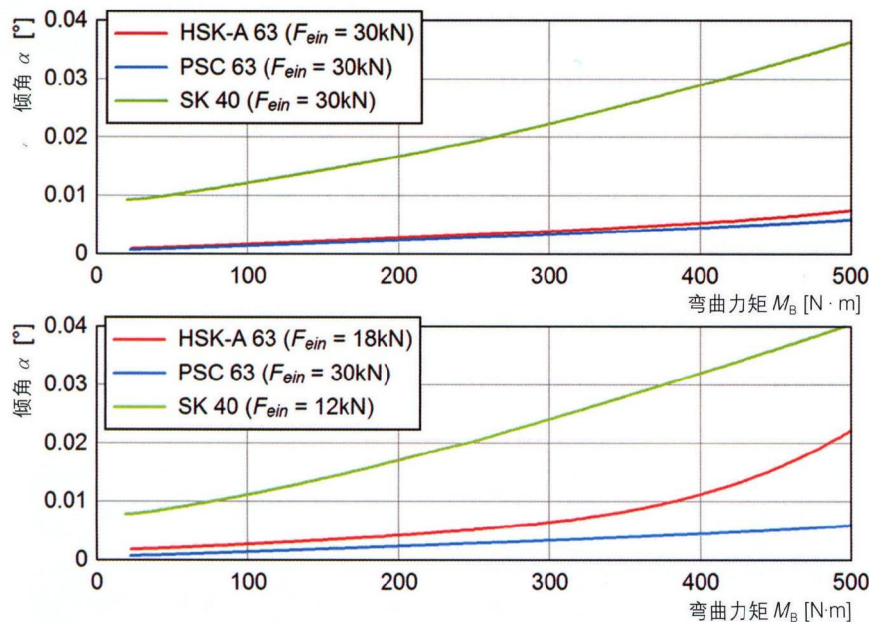


图 3 刀具接口平均弯曲特性曲线（仅在加载下）在 500 N·m 的弯曲力矩下（借助于基准装卡系统）