

何乃纶 编

复合刀具

中国农业机械出版社

729

内 容 提 要

本书扼要地阐述了什么是复合刀具,复合刀具的分类原则,以及复合刀具在提高劳动生产率和加工精度方面的作用;介绍了刀具的基本复合方法,以及如何利用这些方法去设计各种复合刀具;对车刀、钻头、扩孔钻、镗钻、铰刀、铣刀、拉刀和齿轮刀具等各类复合刀具的典型结构也作了介绍,并附有一些必要的结构参数。

本书可供机械制造企业中具有一定经验的工人、技术革新者及工程技术人员阅读,也可供大专院校有关专业的师生参考。

复 合 刀 具

何 乃 纶 编

*

中国农业机械出版社出版

北下关印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 32开 5印张 106千字

1982年1月北京第一版·1982年1月北京第一次印刷

印数: 00,001—9,800 定价0.48元

统一书号: 15216·087

前 言

二十多年前，国外从普通刀具中独立出一类称为“复合刀具”的金属切削刀具，此后，日益引起人们的重视。其实，复合刀具的出现已久，许多成形普通刀具就属于复合刀具，并且是在一般机床上使用的。这种情况延续到现在，并已扩展到复杂刀具领域。例如，车床上使用的复合中心钻，拉床上使用的复合拉刀，以及不少革新者创造的各种复合刀具等，它们多是在一般机床上使用的。

复合刀具能把几道工序合并于一道工序中，可大大缩短机械加工工时和辅助工时，在同一零件的加工中可以减少机床、刀具和卡具的品种、数量，减少生产的占地面积，经济效益十分显著，所以复合刀具的使用范围逐渐扩大到专用机床、组合机床及数控机床中。组合机床的劳动生产率所以高于一般机床，就因为可以合并工序，而采用复合刀具则是合并工序的主要手段之一（采用多刀多刃也可以合并工序）。

复合刀具不仅可以把同一类型的刀具复合到一起，也可以把不同类型的刀具复合到一起（如钻和铰；钻铰和铰；扩孔、攻丝等），复合刀具可以复合粗加工刀具，也可以复合精加工刀具，亦可把粗加工和精加工刀具复合到一起。

复合刀具的制造并不复杂，在车床上使用的一些简单的复合刀具，熟练的技工即可自行刃磨。有些铰工为了提高劳动生产率，常把几把简单的铣刀拼合在一起，装在刀杆上代替复合刀具使用。这种拼合虽然不能看成是复合刀具，但与

复合刀具的功用相同。一些结构比较简单的复合刀具，在一般的机械加工厂中，完全可以自行制造。

为了推广复合刀具，降低刀具的设计和制造成本，应在调查研究的基础上，把零件按成组工艺的要求适当分类，并据此设计一些标准复合刀具，由专业工具厂生产出售。

复合刀具的设计与一般刀具既有相似之处，也有其独特之点。有关复合刀具的定义、分类方法、设计原理、加工制造等方面，都还存在不少问题，有待人们去深入探讨。到目前为止，我国有关复合刀具设计方面的专著还比较少。笔者多年来从事复合刀具制造工艺方面的工作，现根据工作实践，参阅了一些国内外有关文献，编写了此书，如有不当之处，恳请批评指正。

在编写过程中，北京航空学院陈鼎昌副教授在百忙中仔细地审阅了全书，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

编 者

1981年2月

目 录

第一章 复合刀具设计概论	1
一 复合刀具的基本概念	1
二 复合刀具的分类	3
三 刀具的复合方法	4
四 复合刀具的设计步骤	7
第二章 复合刀具的切削过程	9
一 复合刀具的结构参数	9
二 复合刀具切削过程的特点	10
三 复合刀具切削时的切削力	12
四 复合刀具的磨损和耐用度	17
五 复合刀具的切削用量选择	18
第三章 复合车刀	22
一 概论	22
二 复合车刀的结构	25
第四章 孔加工用的复合刀具	32
一 概论	32
二 刀具的结构参数	34
三 复合孔加工刀具的排屑	38
四 供带孔毛坯使用的复合孔加工刀具	40
五 供实体零件使用的复合孔加工刀具	76
第五章 加工成形表面的复合刀具	90
一 复合铣刀	90
二 复合拉刀	102

VI

三 复合齿轮刀具.....	104
四 成形砂轮.....	105
五 用辅具联结的切削工具.....	107
第六章 机械夹固式不重磨复合刀具.....	113
第七章 关于复合刀具制造中的某些问题.....	124
一 毛坯的制造.....	124
二 车削加工.....	126
三 铣削加工.....	127
四 刀具的磨削和刃磨.....	129
五 硬质合金刀具的刃磨和研磨.....	130
附录一 国家标准附录: 刀具紧固部分.....	133
附录二 不同用途时扩孔钻的名义直径.....	144
附录三 高速钢扩孔钻的推荐参数.....	146
附录四 硬质合金扩孔钻的推荐齿形参数.....	148
参考文献.....	150

第一章 复合刀具设计概论

一 复合刀具的基本概念

车刀、钻头、扩孔钻、丝锥、铰刀、铣刀、拉刀、插齿刀、砂轮等，尽管有的形状比较复杂（如拉刀、插齿刀），但仅用于一道工序、一个工步或一次走刀中，我们称之为“单一刀具”。那么，什么是“复合刀具”呢？通俗地讲：把两个以上的单一刀具有机地或不可拆卸地结合成一体，所构成的新刀具就可称为“复合刀具”。

分析复合刀具的结构特点可以发现：它可以在一次走刀中连续执行几个工艺走刀、工步或工序的工作。复合刀具与单一刀具在结构上的主要区别是刀具刀齿的构造不同。复合刀具的刀齿构造分成三种情况：1) 每一把刀由一组形状相同的成形刀齿构成，每个刀齿上有几条主切削刃（图1a）；2) 每一把刀由几组刀齿构成，每一组刀齿有一条或几条主切削刃，每一组刀齿仍保留着单一刀具的功能和结构特点（图1c）；3) 把形状类似、尺寸不同的主切削刃交错排列而形成一体，构成一把新的刀具（图1b）。

但是，能够同时进行某些工步或工序加工的刀具，不一定是复合刀具。例如将几把不同形状和尺寸的铣刀，在铣刀杆上拼合在一起；装在同一刀夹中的两把车刀以及带有中心钻和车刀的组合刀夹；套料镗铣刀盘等，这些刀具彼此不直接衔接而利用辅具组装在一个部件中，是不能称为复合刀具的。

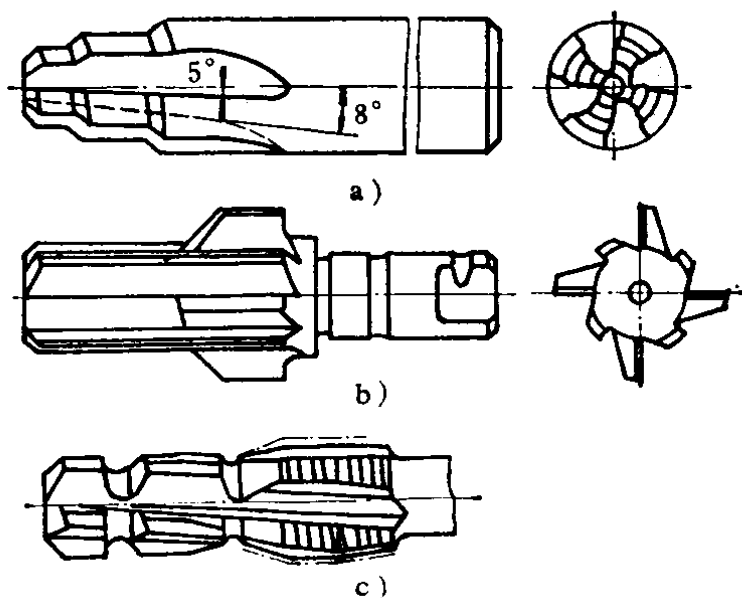


图 1 复合刀具刀齿构造的三种情况

a) 阶梯扩孔钻 b) 复合铰刀 c) 扩孔-铰孔-攻丝复合刀具

复合刀具是集中工序的一种重要手段，可连续加工一个表面或同时加工几个表面，既可用于大批大量生产，也可用于中小批量的生产，这种刀具可使机动和辅助工时缩短33~50%，减少加工中所需的机床、夹具和刀具的品种和数量，并有可能用比较简单和精度不高的工艺装备去完成比较复杂和精度要求较高的工作，因此经济效果显著。

复合刀具既可用于组合机床，又可用于车床、钻床、六角车床、镗床、铣床、拉床、刨床、插齿机、滚齿机、自动机及数控机床。可以用来加工金属材料及非金属材料。加工的尺寸范围较宽，例如：由钻头、铰刀、扩孔钻组成的复合刀具，通常能加工的孔径为5~100毫米，孔的长度可为孔径的四倍。复合拉刀拉削的孔径可以达到12~100毫米。

复合刀具一般是根据工件的具体要求专门设计的，是专用的；也有通用的。但通用复合刀具的品种还不多，例如，复合中心钻以及可以拉削标准花键孔并对键边倒角的复合拉

刀等。通用复合刀具也可称为标准复合刀具，它也适用于单件小批生产的企业。

目前工具厂生产的复合刀具主要是标准复合刀具，专用的复合刀具都由使用厂自行生产。为了提高复合刀具的三化程度（标准化、通用化、系列化），扩大复合刀具的应用范围并降低其制造成本，复合刀具的生产应尽量集中于专业的工具厂。

二 复合刀具的分类

复合刀具的分类法很多，到目前为止，不少使用厂对这个问题并不注意。这主要是因为复合刀具的生产十分分散，三化程度很低。为了提高复合刀具的三化程度，便于专业化生产，必须重视复合刀具的分类。

复合刀具的分类法主要有两种，一种是按功能分，另外一种就是按结构分，具体分类见下表。

复合刀具分类	按功能分	根据被加工表面的类型： 根据被加工表面的形状： 根据加工方式：	分为内表面用和外表面用 分为加工圆柱面用；加工圆柱面和圆锥面用；加工圆柱、圆锥和端面用…… 分为刀齿同时参加切削；刀齿顺序参加切削；部分刀齿同时切削，其它刀齿顺序切削
	按结构分	根据结构特点： 根据紧固方式： 根据被复合刀具的类型： 根据被复合刀具的数量： 根据制造复合刀具的刃部材料：	分为整体式、装配式、镶齿式、机械夹固式 分为锥柄式、套装式、专用夹持式 分为同一类型刀具的复合；不同类型刀具的复合 分为二级复合刀具(复合两把单一刀具)，三级复合刀具(复合三把单一刀具) 分为高速钢、硬质合金、金刚石、立方氮化硼等复合刀具

加工外表面（包括成形表面）的复合刀具具有：复合车刀、复合砂轮、复合刨刀、复合铣刀、复合拉刀、复合插齿刀等。加工内表面（包括成形表面）的复合刀具有各种类型的复合孔加工刀具（如复合钻头、复合铰刀、复合扩孔钻）、复合丝锥、复合刨刀、复合插刀、复合推刀、复合拉刀等。

由尺寸不同而类型相同的刀具构成的复合刀具，可根据被复合的单一刀具的数量来划分，而称为两级铣刀、三级扩孔钻、多级铰刀等，这种刀具主要进行单一类型的加工。由不同类型刀具构成的复合刀具，可同时进行几种类型的加工，例如：钻孔-扩孔、钻孔-攻丝、钻孔-锥铰-扩孔、钻-铰、扩孔-攻丝、扩孔-铰孔-攻丝、铰端面-铰孔-锥铰等等。这种刀具可根据复合刀具的分类原则来命名，以能反映出刀具的主要结构和具体功能为准。如上述刀具可分别称为：复合扩孔钻、钻孔攻丝复合刀具、复合扩孔铰钻、钻铰复合刀具、扩孔攻丝复合刀具、扩孔铰孔攻丝复合刀具、复合铰孔铰钻等。

用于加工同轴阶梯孔的复合扩孔钻，是一种全部刀齿同时参加切削的复合刀具。部分刀齿同时参加切削的复合刀具有复合中心钻、成形车刀和成形铣刀。刀齿顺序参加切削的复合刀具比较多，例如，钻孔-扩孔、扩孔-铰孔、扩孔-铰孔-锥铰等。

三 刀具的复合方法

为使复合刀具同时完成几个工步或相近工序的工作，必须把构成复合刀具的单一刀具按需要结合到一起。这种结合的方法就称为刀具的复合方法。常用的刀具复合方法主要有

三种:

1. 构成成形刀齿的方法 (见图1a), 简称成形法;
2. 刀齿交错排列的方法 (一个阶台的刀齿与另一个阶台的刀齿互相交错排列) (见图1b), 简称错齿法;
3. 把不同的单一刀具按尺寸大小排列, 并顺次联结成一个整体 (见图1c), 简称整体联结法。

成形法主要用于制造成形车刀、成形铣刀、成形拉刀、成形镗刀片和成形扩孔钻。这种成形刀具又可根据切削中所具有的进给运动方向的数量划分为: 具有一个进给方向的成形刀具 (如: 普通成形车刀、成形铣刀、成形拉刀和成形扩孔钻)、具有两个进给方向的成形刀具 (如钻-铣复合刀具, 成形车刀、两刃铣刀) 和具有几个进给方向的成形刀具 (如复合车刀) (图2)。

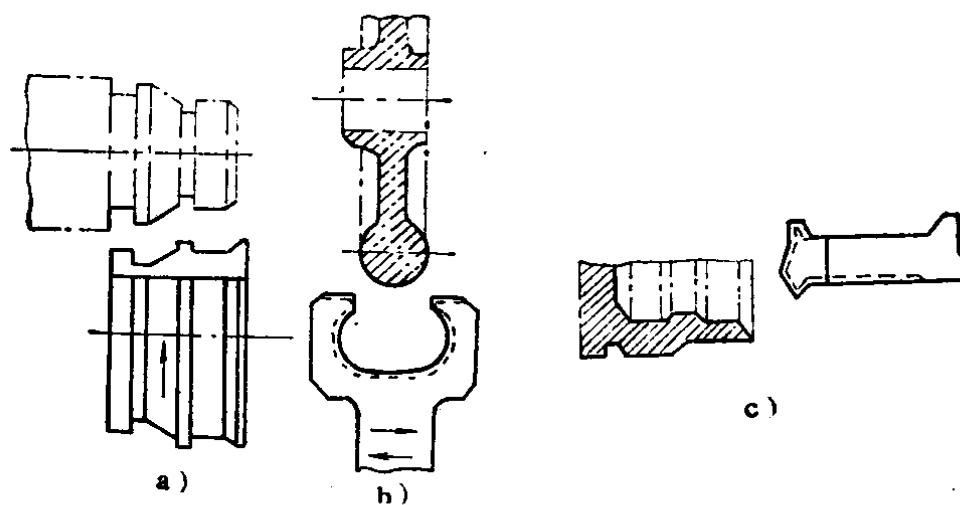


图 2 进给方向数量不同的成形刀具

- a) 具有一个进给方向的成形车刀
 b) 具有两个进给方向的成形车刀
 c) 具有几个进给方向的成形车刀

只有一个进给方向的成形刀具, 属于从单一刀具向复合

刀具的过渡类型。加工简单形状的成形车刀、成形铣刀和成形拉刀，也可以认为是单一刀具。而具有两个或多个进给方向的成形刀具，应该认为是复合刀具。例如，用于镗孔和车内螺纹的普通成形车刀，它的两个主要的切削刃在给定的情况下结合成一个成形刀刃；再如两刃铣刀，这种刀具实质上是把钻和铣的功能结合到一把刀具上，其端面刃用于钻削，而圆柱上的刀齿则用于铣削，因此这两种刀具属于复合刀具（图3）。

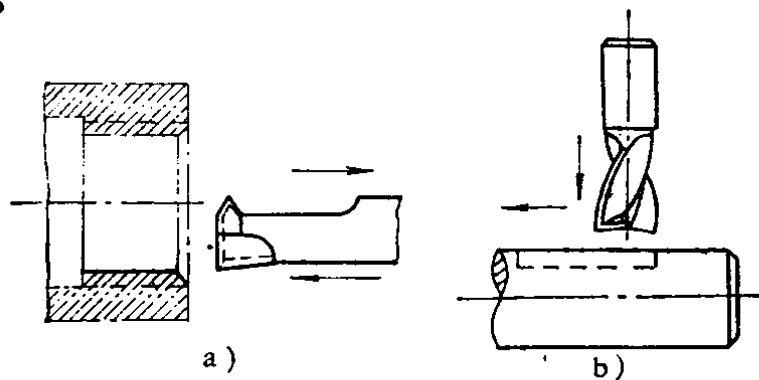


图3 属于复合刀具的两种刀具

a) 具有两个进给方向的成形车刀

b) 具有两个进给方向的两刃铣刀

错齿法主要用于设计复合钻头、阶梯扩孔钻、阶梯铰刀等，交错的刀齿有明显的分界与成形刀齿不同。在拉刀设计中，这种方法常用于外表面拉刀设计。

整体联结法是用得最多的刀具复合方法，通常是把相同类型或不同类型的刀具，按尺寸大小依次排列并联结起来构成一个整体。用这种方法，可以把不同尺寸的同类刀具复合成单一类型的复合刀具，如阶梯扩孔钻、复合铣刀、复合拉刀等。也可以把不同尺寸和形状的不同类型刀具复合到一起，构成钻孔-扩孔-铰孔、钻孔-攻丝、扩孔-铰孔等复合刀具。

在一般情况下，每种复合刀具只用一种复合方法，就可以满足设计上的要求。对于有三个阶台以上的复合刀具，也可以同时用两种复合方法，这样可使刀具结构紧凑。例如，成形法和错齿法并用的复合扩孔钻，使用就比较广泛（见图4）。

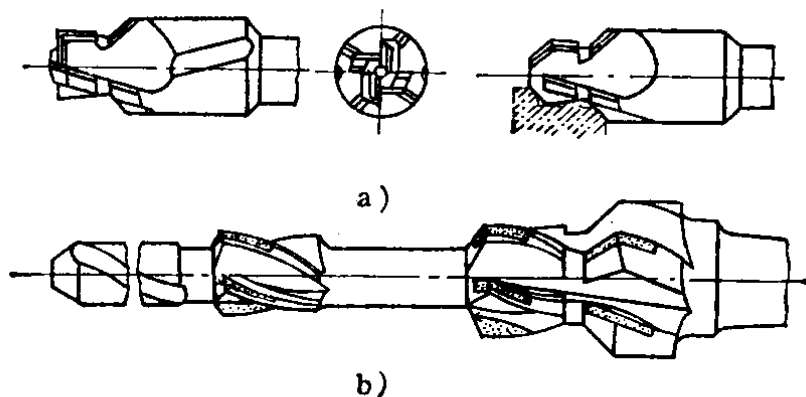


图4 用两种复合方法设计出的刀具

a)前后两排刀齿均为成形刀齿且交错排列

b)前排刀齿和后排刀齿交错排列

四 复合刀具的设计步骤

与单一刀具不同，复合刀具没有成熟的设计步骤。由于复合刀具的种类、特点很多，也不可能有一致的设计步骤，但对大多数复合刀具来说，可以提出一个一般性的设计步骤，作为具体设计时的参考依据：

1. 确定与刀具结构参数有关的原始数据，如被加工零件的结构性能，被加工零件的表面形状、精度要求和余量大小，零件毛坯的材料，工艺装备和机床的特点、劳动生产率的高低及有无其它同时工作的刀具等。

2. 确定需要采用的复合刀具类型，是采用复合车刀还是复合铣刀，还是其它类型的复合刀具。

3. 初步确定切削刃的形状。

4. 初步确定结构要素：包括刀齿的刃磨角度、选择刃部刀具材料，决定切削力的作用方向和大小。

5. 计算刀齿形状和刀具切削部分尺寸：包括成形车刀刃形的计算、切齿工具切削刃口形状的计算等。

6. 对结构要素进行强度计算，并最后确定刀具的形状，以使刀具在切削中获得足够的强度、合理的几何形状及适当的导向和夹持。这些问题可利用有关手册、刀具生产的工艺资料、有关的设计资料所推荐的数据。

7. 进行刀具精度、干涉等方面的验算：对不同刀具，验算项目也是不同的，例如，插齿刀主要验算干涉，花键滚刀则验算齿形的计算精度。

8. 绘制刀具的设计图，并确定制造和重磨的技术条件。在刀具设计图中，要包括制造该刀具所需的数据，形位和尺寸公差值（如切削刃的容许摆差，配合孔相对于端面的不垂直度，两端面的不平行度，形状的允许偏差，齿距的累计误差等），刀具各部分的硬度，打印标记及其位置等。

9. 根据设计图校验现有结构是否完全符合原始数据的要求，对计算说明书进行相应的复验。

设计师应不断观察所设计刀具的使用效果，通过改进设计来解决已出现的问题，使其逐步完善。

这些设计步骤，在使用中应灵活掌握，并非任何复合刀具的设计都包括上述内容。方法只是达到一定目的的手段，只要所设计的复合刀具能达到预期的要求，所用的方法就应该说是可行的。当然可行的方法不一定是最佳方案。

第二章 复合刀具的切削过程

一 复合刀具的结构参数

从形状和结构来说，复合刀具的基本切削部分和校准部分与单一刀具有许多共同点，可参考相应的单一刀具的有关数据来确定复合刀具的结构参数。下面仅讨论复合刀具的结构特点。

复合刀具的主要结构特点是：具有几个尺寸和形状均不相同的主切削刃，但是在用成形法构成的复合刀具中，各个单一刀具的主切削刃联成了一个不间断的折线或者形成了一条平滑过渡的复杂曲线，例如成形车刀或成形铣刀，这时很难根据复合刀具的定义把相连的各条主切削刃区分清楚，可以把它们看成是一条主切削刃。在阶梯扩孔钻或阶梯形铰刀中，为了刃磨方便，在两个阶台的连续处开有退刀槽，这时成型的主切削刃被分成了几段，沟槽就是分界点，此时复合刀具的特点就比较明显（见图5）。

用错齿法或整体联结法构成的复合刀具，主切削刃的数目常与被加工零件的台阶数相同。有些复合车刀是利用把辅助切削刃转化为主切削刃而构成的（如图6所示，与轴线平行的辅助切削刃也转化为主切削刃）。在复合刀具中，由于切削刃数量的增加，使切削刃的总长增大，因而刀具和被加工表面的接触线也增大。

复合刀具上形成切削刃的前后刀面的数量，比单一刀具

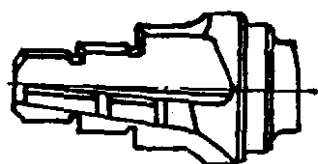


图 5 阶台处开退刀
槽的复合扩孔钻

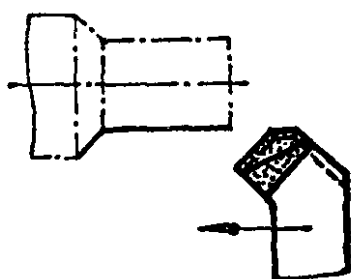


图 6 切外圆及倒角
用的复合车刀

多。每个面都有一个适当的空几何角度，这些角度与刀具的结构、性能、刀齿的类型、数量和分布以及刀具的制造和重磨方式有关。

在设计普通车刀时，主要根据最大生产率和最高耐用度来选择刃口形状和刀具几何角度。制造工艺和刃磨方式一般来说不存在很大的问题。但是，在复合刀具设计中情况就不一样了，由于受到刃口形状、结构形式、制造工艺和刃磨方式的限制，常常不得不放弃已经实践证明是最合理的几何角度。

切削刃的形状对前角 γ 的影响比较大。例如切断刀的最佳前角值在某些情况下达到 $+30^\circ$ ，而铲刀的前角一般不超过 $+12^\circ$ ，大多数情况下是 0° 。在具有成形刀齿的复合刀具中，前角视具体结构而定，一般小于相同情况的单一刀具。其它几何角度的情况也类似。例如，焊有硬质合金刀片的阶梯扩孔钻，容屑槽的螺旋倾角比单一扩孔钻减少 $5^\circ \sim 6^\circ$ 。

二 复合刀具切削过程的特点

根据被复合的单一刀具的类型、复合方法、以及被加工零件的特点，复合刀具在使用中有如下三种情况：1) 复合刀

具的所有切削刃同时参加切削；2)复合刀具的部分切削刃同时参加切削；3)复合刀具的切削刃依次参加切削（参看图10）。

属于第1)种情况的复合刀具有：加工彼此相隔一定距离的同轴孔的阶梯扩孔钻、阶梯铰刀，或者是加工成形表面的成形铣刀、成形车刀等。在这种情况下，刀具的所有切削刃同时进入切削并同时切离工件（见图10b）。

属于第2)种情况的复合刀具比较多，例如大部分的复合扩孔钻、带钻头和其它工具的扩孔钻、用于加工几个同轴阶梯孔的复合刀具。开始时是刀具的第一个阶台进入切削，而后是第二个阶台，最后所有的阶台同时参加切削，这些都属于这种情况（如图10a）。

加工单孔用的复合刀具大部分属于第3)种情况，此时切削刃依次参加切削。例如，扩孔-铰孔复合刀具、扩孔-铰孔-攻丝复合刀具等，某些复合车刀和复合拉刀都属于这种情况（见图10c）。

复合刀具的每一段切削刃，在切削过程中负荷不同，这主要由于切削截面或者是切削厚度不相同。在所有的切削刃同时参加切削时，总的切削截面等于每个切削刃切除的切削截面的总和。所以瞬间总切削截面可以表达为：

$$F = f_1 Z_1 + f_2 Z_2 + \dots + f_n Z_n$$

式中 $f_1, f_2, \dots, f_n$ ——从1~n每段刀齿所切下的切削截面；

$Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ——从1~n每段刀齿上所包括的刀齿数目。

对于切削刃依次参加切削的复合刀具来说，每一段刀齿