

机械制造技术

韩长征 张蜀红 刘璐◎主编

中央民族大学出版社
China Minzu University Press

机械制造技术

主 编 韩长征 张蜀红 刘 璐

中央民族大学出版社
China Minzu University Press

ISBN 7-309-05502-9

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术 / 韩长征, 张蜀红, 刘璐主编. -- 北京: 中央民族大学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-5660-1046-9

I. ①机… II. ①韩… ②张… ③刘… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 154113 号

机械制造技术

主 编 韩长征 张蜀红 刘 璐

责任编辑 李苏辛

封面设计 艳 子

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区东关村南大街 27 号 邮编:100081

电话:68472815(发行部) 传真:68932751(发行部)

68932218(总编室) 68932447(办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 厂 三河兴达印务有限公司

开 本 787×1092(毫米) 1/16 印张:19

字 数 310 千字

版 次 2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5660-1046-9

定 价 68.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

“机械制造技术”是机械类及机电类各专业的重要专业基础课程，是一门与机械工业发展紧密联系的基础学科，在机械制造业中具有广泛的实用性。

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020）》的指导思想，参考教育部“关于普通高等教育教材建设与改革的意见”精神，基于机械类、机电类、仪器仪表类各专业的要求和“突出技能训练，培养实用型人才”的人才培养目标编写而成。本书适用于机械制造及自动化、数控技术、模具设计与制造、机电一体化、仪器仪表、汽车等机械类专业人员使用也可供有关工程技术人员参考阅读。

本书将金属切削基本原理与刀具、金属切削机床、机械加工工艺规程的制定、机床夹具、机械加工精度、机械加工表面质量、典型零件的加工、机械装配工艺基础和先进制造技术简介等内容有机地结合在一起，并大量使用图片、实物照片或表格将各个知识点生动地展现出来，力求内容详简得当、深入浅出、学用结合、重点突出。注重内容的科学性、先进性、实用性，使读者获得机械制造生产中必须具备的基础理论知识和基本技能。

本书在特色建设方面做出了许多努力，由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有欠妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2018年4月



目 录

c o n t e n t s

第1章 金属切削基本原理与刀具

1.1 金属切削运动与切削用量	001
1.2 金属切削刀具的基本知识	004
1.3 刀具材料	006
1.4 常用刀具介绍	009
1.5 金属切削过程及规律	022
1.6 切削过程对刀具的影响	030
1.7 金属切削理论的应用	034
本章小结	041
复习思考题	041

第2章 金属切削机床

2.1 金属切削机床的分类及型号	044
2.2 工件切削表面成形方法与机床运动分析	047
2.3 车削加工	050
2.4 铣削加工	057
2.5 钻削加工	062



2.6 磨削加工	064
2.7 刨削加工	068
2.8 镗削加工	071
2.9 齿轮切削加工	074
本章小结	081
复习思考题	082

第3章 机械加工工艺规程的制定

3.1 机械加工工艺过程的基础知识	084
3.2 机械加工工艺规程	092
3.3 零件的工艺分析	096
3.4 毛坯的选择	099
3.5 机械加工工艺过程设计	102
3.6 工序设计	113
3.7 工艺尺寸链	117
3.8 机械加工生产率和技术经济分析	122
本章小结	125
复习思考题	126

第4章 机床夹具130

4.1 机床夹具概述	130
4.2 工件在夹具中的定位	134
4.3 定位误差的分析与计算	145
4.4 工件的夹紧	153
4.5 机床夹具的设计原则与步骤	162
4.6 典型机床夹具	165
本章小结	174
复习思考题	174

第5章 机械加工精度

5.1 机械加工精度概述	178
5.2 工艺系统的制造误差对加工精度的影响	182
5.3 加工原理误差对加工精度的影响	188
5.4 工艺系统受力变形对加工精度的影响	188
5.5 工艺系统的热变形对加工精度的影响	195
5.6 测量误差对加工精度的影响	197
5.7 残余应力对加工精度的影响	198
5.8 保证和提高加工精度的工艺措施	200
5.9 加工误差的统计分析方法	202
本章小结	208
复习思考题	209

第6章 机械加工表面质量

6.1 机械加工表面质量概述	211
6.2 机械加工表面粗糙度及其改善措施	215
6.3 影响加工表面物理力学性能的工艺因素及改善措施	219
6.4 机械加工中的振动及其控制	225
本章小结	229
复习思考题	230

第7章 典型零件的加工

7.1 轴类零件的加工	232
7.2 套筒类零件的加工	241
7.3 箱体类零件的加工	248
本章小结	255
复习思考题	256



第8章 机械装配工艺基础

8.1 机械装配工艺概述	258
8.2 装配精度	263
8.3 装配尺寸链	265
8.4 保证产品装配精度的工艺方法	271
8.5 装配工艺规程的制定	276
8.6 典型装配工艺——蜗轮减速器的装配工艺	281
本章小结	286
复习思考题	286

第9章 先进制造技术简介

9.1 先进制造技术概述	289
9.2 特种加工技术	292
9.3 数控技术	294
9.4 柔性制造系统 (FMS)	295
9.5 计算机集成制造系统 (CIMS)	296
9.6 成组技术	298
9.7 绿色制造技术	303
本章小结	305
复习思考题	306

参考文献	308
------	-----

第1章 金属切削基本原理与刀具

知 识 内 容

金属切削加工的方法很多,虽然切削加工的形式不同,却有着许多共同的切削原理和切削规律。如果熟悉掌握了这些原理和规律,才能正确应用各种金属切削加工方法。本章主要介绍金属切削运动与切削用量,金属切削刀具的基本知识包括刀具的结构、刀具的角度坐标系、刀具的角度等,刀具材料的性能和刀具材料的选用,常用刀具包括车刀、铣刀、孔加工刀具及齿轮加工刀具的介绍,金属切削过程、切削力及切削热的产生及变化规律,刀具的磨损和刀具的寿命及金属切削理论的应用等内容。

学 习 目 标

- 1.掌握切削运动分析和切削参数及刀具角度的功能;
- 2.熟悉刀具的参考坐标系和车刀的刀具几何角度;
- 3.了解钻头、铣刀、镗刀等刀具的几何角度组成和结构功能;
- 4.掌握刀具材料的要求及刀具材料的选用;
- 5.熟悉切削过程的基本规律,了解切削力和切削热的概念及影响因素;
- 6.掌握切削参数的选择和刀具角度的选择;
- 7.了解切屑的控制和切削液的选用等内容。

1.1 金属切削运动与切削用量

切削加工在机械制造中占有十分重要的地位,尽管切削形式有所不同,却有着许多共同的切削规律。只有对金属切削原理有较深的认识和理解,才能合理地选择加工方案及有效地控制切削过程,以保证零件的加工质量和提高劳动生产率。

1.1.1 金属切削运动

在金属切削的过程中,机床的执行机构驱动刀具和工件做相对运动,通过工件和

刀具的相对运动形成符合零件技术要求的表面形状，实现刀具对工件的切削，称这种相对运动为切削运动，切削运动是合成的运动，分为主运动和进给运动。

1. 主运动

由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件之间产生主要的相对运动。主运动的特点是速度最高，消耗功率最大。如车削时，主运动是工件的回转运动，如图1-1所示。

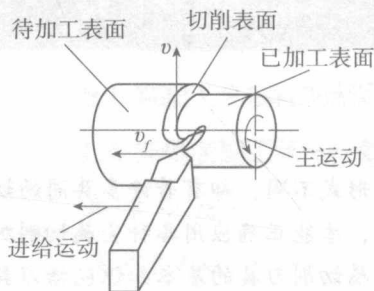


图1-1 车削运动和车削表面

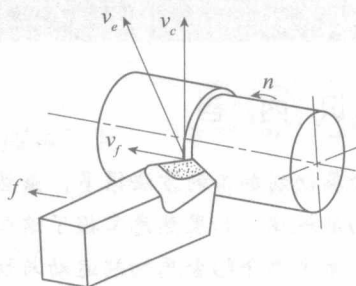


图1-2 合成运动

2. 进给运动

由机床或人力提供的运动，它使刀具与工件间产生附加的相对运动，进给运动将被切金属层不断地投入切削，加工出具有所需几何特性的加工表面。车削外圆时，进给运动是刀具的纵向运动；车削端面时，进给运动是刀具的横向运动。

主运动的运动形式可以是旋转运动或直线运动，主运动可以由工件完成或由刀具完成。主运动和进给运动可以同时进行或间歇进行，主运动通常只有一个，而进给运动可能有一个或几个。

3. 主运动和进给运动的合成

当主运动和进给运动同时进行时，切削刃上某一点相对于工件的运动为合成运动，常用合成速度向量 v_e 来表示，如图1-2所示。

4. 工件表面

在切削加工过程中，工件表面的金属层不断地被切削下来变为切屑。在新表面形成的过程中，工件上有三个依次变化着的表面，分别是待加工表面、切削表面和已加工表面。如图1-1所示。

(1) 待加工表面。为将被切去金属层的表面。

(2) 切削表面。切削刃正在切削而形成的表面，切削表面又称加工表面或过渡表面。

(3) 已加工表面。已经切去多余金属层而形成的新表面。

1.1.2 切削用量

为便于分析机床的相对运动，将与相对运动的相关的切削参数称为切削用量。切削用量是机床加工的重要工艺参数，是切削速度、进给量和背吃刀量（切削深度）的总称，称为切削三要素。

一般用切削速度来描述主运动，进给量来描述进给运动，背吃刀量描述刀具每次切削的深度。

(1) 切削速度 v 。切削速度为过切削刃选定点相对工件主运动的瞬时速度，单位为m/s或m/min。以车削为例，切削速度计算式为

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \text{ m/min} \quad (1-1)$$

式中： n —工件或刀具的转速，单位为r/min；

d —工件或刀具选定点旋转直径，单位为mm。

(2) 进给量 f 。进给量为刀具在进给运动方向上相对工件的位移速度，可用工件每转（行程）的位移量来度量，单位为mm/r。进给量也可用进给速度 v_f 表示， v_f 指切削刃选定点相对工件进给运动的瞬时速度，单位为mm/s或m/min。车削时进给运动速度为

$$v_f = n f \quad (1-2)$$

(3) 背吃刀量（切削深度） a_p 。背吃刀量指在垂直于进给速度方向测量的切削层厚度的最大尺寸，单位为mm。当车削外圆时，背吃刀量为

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1-3)$$

式中： d_w —待加工表面直径；

d_m —已加工表面直径。

切削层参数

当切削用量确定后，切削过程中的切削层参数随之确定。切削层为刀具单程切削工件时，所切除的工件材料层。切削层形状和尺寸影响切削过程的变形、刀具上作用的负荷以及刀具的磨损。

切削层参数是指在刀具基面上度量切削层的长度与宽度，它与切削用量 a_p 和 f 的大小有关，如图1-3所示。在切削过程中直接影响切削过程的主要是切削层横截面及其厚度、宽度尺寸。它们的定义与符号如下。

(1) 切削层公称横截面积 A_d 。简称切削层横截面积，它是切削层在切削层尺寸平面内的横截面积。

$$A_d = h_D b_D \quad (1-4)$$

(2) 切削层公称厚度 h_D 。简称切削厚度，它是在垂直于过渡表面度量的切削层尺寸，为相邻两个过渡表面之间的距离。

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-5)$$

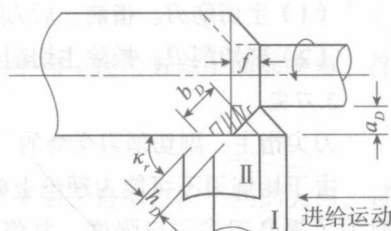


图1-3 切削层参数



(3) 切削层公称宽度 b_D 。简称切削宽度,它是在平行于过渡表面度量的切削层尺寸。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1-6)$$

式(1-4)~(1-6)中各物理量所代表的含义,如图1-3所示。

1.2 金属切削刀具的基本知识

1.2.1 刀具的结构

在金属的切削过程中,切削用量确定后,切削过程并没有完全确定,因为刀具是参与切削的主体,刀具的几何形状是至关重要的。如图1-4所示,车刀由刀头、刀体两大部分组成。在切削过程中刀头用于切削,刀体用于装夹。

刀具切削部分(刀头)由一尖、两刃、三面构成。

1. 刀面

(1) 前刀面。指刀具上切屑流过的表面。

(2) 后刀面。指与过渡表面相对的表面。

(3) 副后刀面。指与已加工表面相对的表面。

前刀面与后刀面之间所包含的刀具实体部分称刀楔。

2. 切削刃

(1) 主切削刃。指前、后刀面交会的边缘。

(2) 副切削刃。指除主切削刃以外的切削刃。

3. 刀尖

刀尖指主、副切削刃交会的一小段切削刃,称为刀尖。

由于切削刃不可能为理论上的一条线那样刃磨得很锋利,总有一些刃口圆弧,同时为了提高刀尖刃口强度,常将刀尖做成修圆刀尖或倒角刀尖。

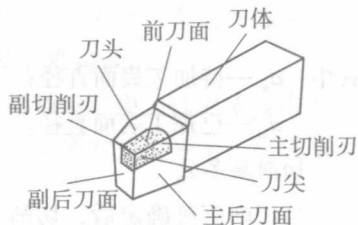


图1-4 车刀的组成

1.2.2 刀具的角度坐标系

在切削过程中,刀具的各个面在空间的位置变化会影响切削过程,为准确地描述刀具切削部分的几何形状,一般用平面角度描述刀具的空间形状,用于定义刀具角度的基准坐标平面称为参考系。

刀具角度的平面参考系,如图1-5所示,由以下几个平面组成。

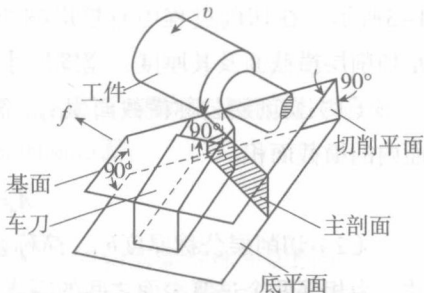


图1-5 确定车刀角度的正交平面参考系

(1) 基面。指过切削刃选定点平行或垂直刀具上的安装面(轴线)的平面,图示车刀的基面可理解为平行刀具底面的平面。

(2) 切削平面。指过主切削刃选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。

(3) 正交平面。指过切削刃选定点同时垂直于切削平面与基面的平面。

以上三个切削表面构成了刀具正交平面参考坐标系,在这个坐标系中,刀具的各个表面和切削刃的角度全部确定。

1.2.3 刀具的角度

刀具角度是描述刀具表面在空间位置的参数。在正交平面参考坐标系中最基本的刀具角度有前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角,如图1-6所示。

1. 前角 γ_0

前角指在正交平面中可以测量的前刀面与基面之间的夹角,符号为 γ_0 ,表示刀具前刀面的倾斜程度,决定刀具的锋利程度。

2. 后角 α_0

后角指在正交平面中测量的后刀面与切削平面间的夹角,符号为 α_0 ,表示主后刀面倾斜的程度。

3. 副后角 α'_0

副后角指在正交平面中测量的副后刀面与副切削平面间的夹角,符号为 α'_0 。

4. 主偏角 k_r

主偏角指在基面中测量的主切削平面与假定工作平面(进给方向)间的夹角,符号为 k_r 。

5. 副偏角 k'_r

副偏角指在基面中测量的副切削平面与假定工作平面(进给方向)间的夹角,符号为 k'_r 。

6. 刃倾角 λ_s

刃倾角指在切削平面中测量的切削刃与基面间的夹角,符号为 λ_s 。

以上几何角度称为刀具的基本角度,基本角度能完整地表达出车刀切削部分的几何形状,反映出刀具的切削特点。

1.2.4 刀具的实际工作角度

在实际切削的过程中,由于刀具的安装位置、刀具和工件间相对运动情况的变化,实际产生作用的刀具角度与标注角度有所不同,称这些实际发生作用的角度为实际工作角度。以下为刀具安装位置对实际工作角度的影响情况。

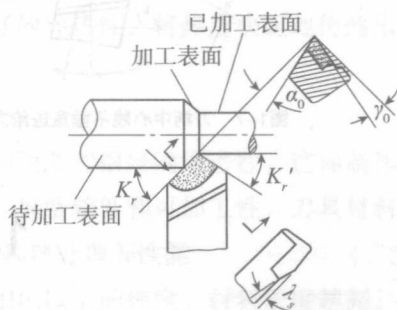


图1-6 车刀的几何角度



1. 刀柄中心线与进给方向不垂直时对主、副偏角的影响

当车刀刀柄与进给方向不垂直时,主偏角和副偏角将发生变化。如图1-7所示,刀具中心线与工件的轴心线夹角大于 90° 时,引起刀具主偏角增大,相反副偏角变小。

2. 切削刃安装高于或低于工件中心时,对前角、后角的影响

切削刃安装高于或低于工件中心时,按辅助平面定义,通过切削刃做出的切削平面、基面将发生变化,所以使刀具角度也随着发生变化,如图1-8所示。

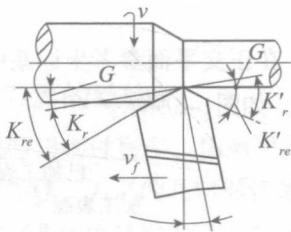


图1-7 刀柄中心线不垂直进给方向

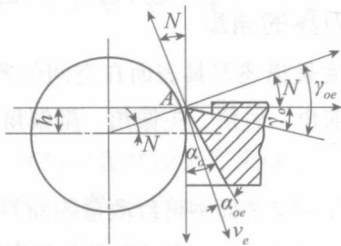


图1-8 车刀安装高低对前角、后角的影响

1.3 刀具材料

刀具材料一般是指刀具切削部分的材料,它的性能优劣是影响加工表面质量、切削效率、刀具寿命的重要因素。选用合适的刀具材料不仅能有效地提高切削效率、加工质量和降低成本,也是解决某些难加工材料的关键。掌握常用刀具材料的牌号、性能及选用是非常重要的。

1.3.1 刀具材料的性能

在切削加工时,刀具切削部分在高温下进行切削,同时承受着强烈的切削力、冲击力、摩擦力和振动等,伴随切削力和热变形不断变化等各种不利的因素。因此,刀具材料应具备以下性能。

1. 足够的强度与韧性

在切削过程中,刀具在切削时受到很大的冲击,特别是在断续切削时,切削力是交互变化的,若刀具材料没有足够的强度和韧性,刀具会产生裂纹甚至断裂。强度过低会产生破坏。在断续切削时,对刀具会产生较大的冲击力,此时要求刀具材料有较好的韧性。

2. 具有高的硬度

刀具材料只有在切削过程中保持很高的硬度,才能在较长的时间内顺利地将工件材料从本体上切削下来。

3.具有很好的耐磨性

耐磨性表示刀具抵抗磨损的能力,通常刀具材料硬度越高,耐磨性越好。在切削过程中,工件材料在被切离时,切屑流经刀具的表面,与刀具产生剧烈的摩擦,如果刀具材料的耐磨性差,刀具表面会快速的磨损,一方面刀具的表面质量下降,摩擦更加剧烈;另一方面刀具的角度产生改变,使切削的条件产生变化,所以刀具材料一定要有很好的耐磨性。

4.高的耐热性和好的导热性

在切削时,因切削过程中的摩擦,刀具表面的温度很高,高耐热性是指在高温下仍能维持刀具切削性的一种特性,通常用高温硬度值来衡量,也可用刀具切削时允许的耐热温度值来衡量。它是影响刀具材料切削性能的重要指标。耐热性越好的材料允许的切削速度就越高,同时要求刀具材料具有较好的导热性,将热量快速地传递出去,以保证刀具在较低的温度下就达到热平衡。

5.较好的工艺性与经济性

金属切削刀具的形状比较复杂,并且具有很高的硬度和很好的耐磨性,这样制作刀具时就很困难,所以刀具材料应有较好的工艺性、价格较低和可加工性,刀具材料的可加工性包括锻、轧、焊接、切削加工、可磨削性和热处理等性能。

一般情况下,刀具材料在切削过程中应具有60HRC以上的硬度。材料硬度越高,耐磨性越好,但抗冲击韧性相对就降低。所以要求刀具材料在保持有足够的强度与韧性条件下,应具有较高的硬度与耐磨性,同时兼顾材料的工艺性和经济性。

1.3.2 刀具材料的选用

1.刀具材料的类别

目前,在金属切削加工中经常使用的刀具材料分4大类:工具钢(包括碳素工具钢、合金工具钢、高速钢)、硬质合金、陶瓷和超硬刀具材料(金刚石、立方氮化硼)。

(1) 碳素工具钢、合金工具钢耐热性差,但抗弯强度好,价格低廉,焊接与刃磨性能都很好,广泛应用于中、低速切削的成形刀具,常用于手工工具、刃具的刀具材料。

(2) 高速钢具有高的强度和韧性,具有抗冲击振动的能力,用于制造各类刀具或整体刀具,如内孔车刀、周铣刀、立铣刀、齿轮滚刀等。

(3) 硬质合金耐热性好,切削效率高,但刀片强度、韧性不及工具钢,焊接刃磨工艺性也比工具钢差,多用于制作车刀、铣刀及各种高效切削刀具的刀头。

(4) 陶瓷和超硬刀具材料在机械加工中用于制作专用刀具,如陶瓷用来制成砂轮。

2.刀具材料的选用

在各类刀具材料中,因合金的组成比例不同,刀具的性能差异较大,可以满足不同切削加工的需要。



(1) 高速钢

①通用型高速钢。通用型高速钢应用最广，约占高速钢总量的75%。碳的质量分数为0.7%~0.9%，按钨、钼含量的不同分为钨系、钨钼系，主要牌号有以下3种。

W18Cr4V钨系高速钢。该类高速钢具有较好的综合机械性能，含钒量少，刃磨性好。淬火时过热倾向小，热处理控制较容易。缺点是碳化物分布不均匀，不宜做大截面的刀具。

W6Mo5Cr4V2钨钼系高速钢。该类高速钢是国内外普遍应用的牌号，在高速钢中加入一定质量分数的钼，改善了刃磨工艺性，降低钢中碳化物的数量及分布的不均匀性，提高热塑性、抗弯强度与韧性。一般用于加工热轧刀具。

W9Mo3Cr4V钨钼系高速钢。在合金中加入钨金属，耐热性能好；同时Mo金属的含量降低，其抗弯强度与韧性变好。高温热塑好，有良好的切削性能。

②高性能高速钢。高性能高速钢是指在通用型高速钢中增加碳、钒的质量分数，并添加钴或铝等合金元素。此类高速钢的常温硬度可达67~70HRC，耐磨性与耐热性有显著的提高。用于不锈钢、耐热钢的加工。

③粉末冶金高速钢。粉末冶金高速钢是通过高压惰性气体或高压水雾化高速钢水而得到细小的高速钢粉末，然后压制或热压成形，再经烧结而成的高速钢。

(2) 硬质合金

硬质合金按其化学成分与使用性能分为3类。

①K类（YG类或钨钴类）。钨钴类硬质合金是由硬质相碳化钨WC和黏结剂钴Co组成的，其韧性、磨削性能和导热性好。主要适用于与加工脆性材料如铸铁、有色金属及非金属材料。这类硬质合金常用牌号和应用范围，如表1-1所示。代号YG后的数值表示钴Co的含量，合金中含钴量越高，其韧性越好，适用于粗加工；含钴量少的，用于精加工。

表1-1 硬质合金常用牌号和应用范围

牌号	应用范围		
YG3X	硬度 ↑ 耐磨性 切削速度 抗弯强度 韧性 进给量 ↓		铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
YG3			铸铁、有色金属及其合金的精加工、半精加工,不能承受冲击载荷
YG6X			普通铸铁、冷硬铸铁、高温合金的精加工、半精加工
YG6			铸铁、有色金属及其合金的半精加工和粗加工
YG8			铸铁、有色金属及其合金、非金属材料的粗加工,也可用于断续切削
YG6A			冷硬铸铁、有色金属及其合金的半精加工,亦可用于高锰钢、淬硬钢的半精加工和精加工

续表

YT30	硬度 ↑ 抗弯强度 ↑ 耐磨性 ↑ 韧性 ↓ 切削速度 ↓	抗弯强度 ↓ 韧性 ↑ 进给量 ↓	碳素钢、合金钢的精加工
YT15			碳素钢、合金钢在连续切削时的粗加工、半精加工,亦可用于断续切削时精加工
YT14			同YT15
YT5			碳素钢、合金钢的粗加工,可用于断续切削
YW1	硬度 ↑ 抗弯强度 ↑ 耐磨性 ↑ 韧性 ↓ 切削速度 ↓	抗弯强度 ↓ 韧性 ↑ 进给量 ↓	高温合金、高锰钢、不锈钢等难加工材料及普通钢料、铸铁、有色金属及其合金的半精加工和精加工
YW2			高温合金、不锈钢、高锰钢等难加工材料及普通钢料、铸钢、有色金属的粗加工和半精加工

②P类（YT类或钨钴钛类）。钨钴钛类硬质合金是由硬质相碳化钨WC、碳化钛TiC和黏结剂Co组成的，由于在合金中加入了碳化钛（TiC），从而提高了合金的硬度和耐磨性，但是抗弯强度、耐磨削性能和热导率有所下降；低温脆性较大，不耐冲击，因此，这类合金适用于高速切削一般钢材。代号YT后的数值表示碳化钛TiC 的含量，当刀具在切削过程中承受冲击、振动而容易引起崩刃时，应选用TiC含量少的牌号，而当切削条件比较平稳，要求强度和耐磨性高时，应选用TiC含量多的刀具牌号。

③M类（添加稀有金属碳化物类）。M类硬质合金是在钨钴钛类硬质合金中加入适量的碳化钽（TaC）或碳化铌（NbC）稀有难熔金属碳化物，可提高合金的高温硬度、强度、耐磨性、黏结温度和抗氧化性，同时，韧性也有所增加，具有较好的综合切削性能，主要用于加工难切削材料。

1.4 常用刀具介绍

金属切削刀具是切削加工中的重要工具，因工件形状的差异很大，所以刀具的种类繁多，应用各异。下面介绍常用标准刀具，包括车刀、铣刀、孔加工刀具及齿轮刀具的种类与用途，各种刀具的正确选择与使用等内容。