

第 21 章

切削和磨削加工 经济学

22 机床振动和颤振

22.1 序言

机床与工件产生振动而引起的问题是金属切削中提高生产率的主要障碍。工件和切削刀具间的振动被记录在工件的表面上，而且根据振动的严重程度和所需要的表面粗糙度，有可能使工件的表面质量不能满足要求。过分的振动和颤振还可能严重地降低刀具寿命。此外，颤振还影响轴承和机床中其他零件的寿命。

在现代车间中所遇到的高效率和恶劣的切削条件还暴露出振动的另一个问题，即过大的噪声。这个问题通常是由高频振动的条件，即所谓颤振所产生，尽管它可能对表面粗糙度的影响很小，但是现在政府的法规已经非常注意机床操作者的环境噪声。

如果对刀具寿命，表面粗糙度和噪声的情况不能满意，就需要解决振动问题。许多有车间经验的人都注意到了振动和颤振，但却很少会识别振动问题的类型及其适当的解决方法。下面将介绍机床和工件振动的起因及消除方法的选择。

22.2 振动的起因

(1) 机床元件的变形

为了分析振动问题，首先要了解材料的变形特性，决定变形的最重要的材料性能是弹性模量。对大多数结构来说，在给定载荷下的非永久性的弹性变形量与弹性模量成反比例关系。模量愈高则变形愈小。表 22-1 给出了机床、刀具和夹具常用材料的弹性模量：

表 22-1 一些普通材料的弹性模量

材 料	弹性模量 MPa
铝	63000
铸铁	98000(变化较大)
钢	203000
碳化钨(硬质合金)	595000

应当指出，所有的钢，不论其合金成份、热处理或硬度如何，都具有大致相同的弹性模量。弹性模量取决于材料的基本原子结构，而强度和硬度则主要取决于材料中不影响模量的含量很少的元素。

表 22-1 所列的材料中，对减少机床结构变形来说，铝是最差的材料。铸铁比铝的抗变形能力要强，钢又更好些，最好的是碳化钨（硬质合金）。由于铸铁材料比较容易获得，而且加工费用比钢低，所以，尽管它的弹性模量较低，还是经常在机床结构中使用。碳化钨非常贵而且加工费用很高，因此，只用在性能比成本更重要的地方。

对于给定的材料来说，结构的变形是作用力和几何形状的函数，方程 (1) 可以用来预计如图 22-1 所示截面的悬臂梁的变形：

$$d = \frac{64PL^3}{3\pi ED^4} \quad (1)$$

式中 d ——梁的变形 cm；
 P ——作用在梁端上的力 kgf；
 L ——梁的长度 cm；
 D ——梁的直径 cm；
 E ——弹性模量 MPa。

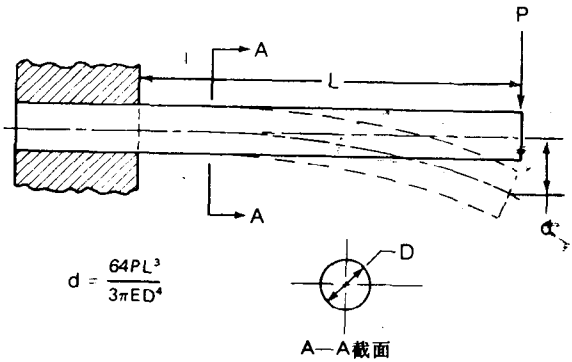
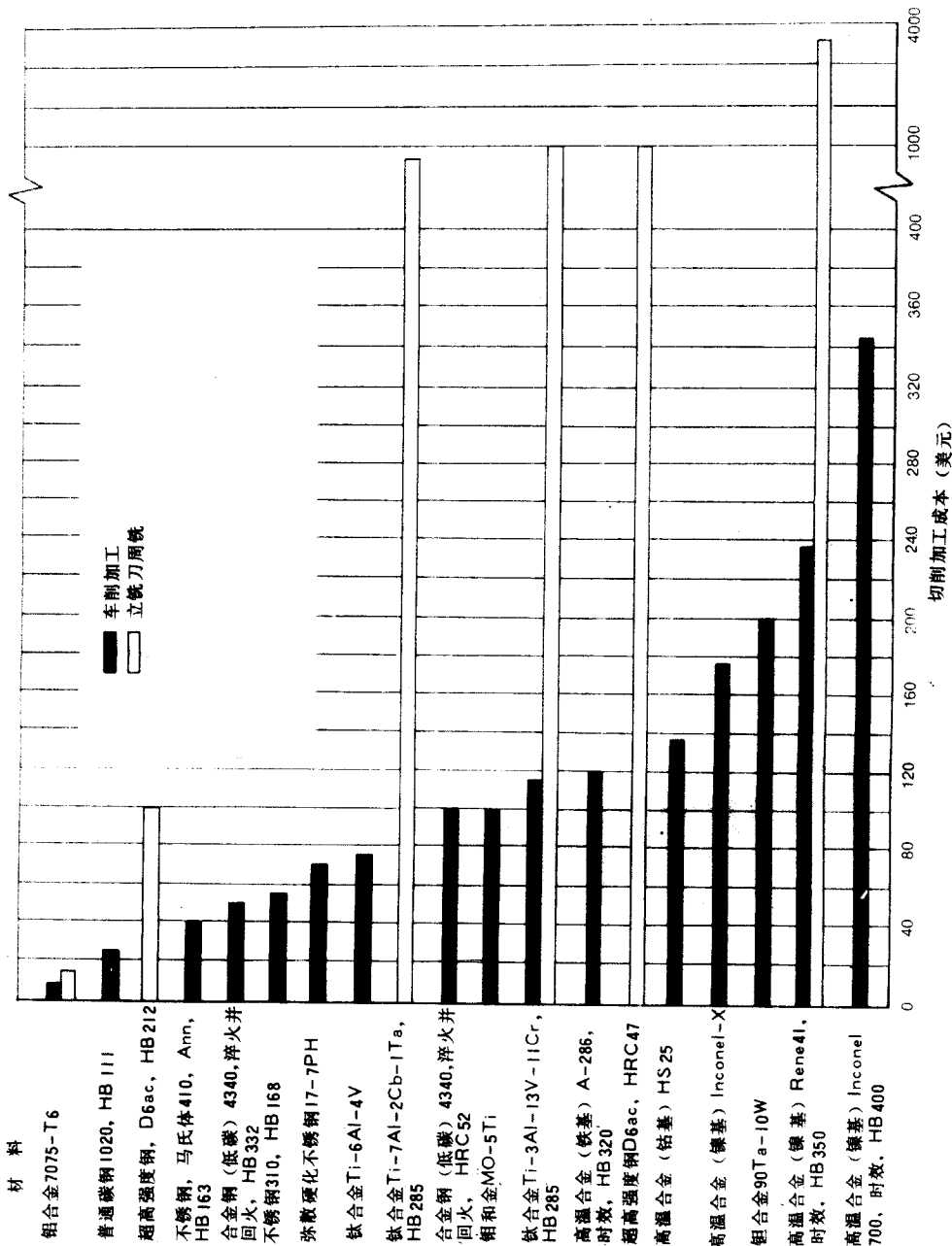


图 22-1 悬臂梁的变形

方程 (1) 只能“严格地”用于一端紧固在沉重基础上的圆柱体梁。也可以近似地用于从刀架或刀夹伸出的镗杆；一端在虎钳上夹紧的圆柱形长零件；从前轴承伸出的主轴头部；或者任何悬伸很长的“细长”梁或薄板的变形。在这里，“细长”和“薄”只是相对的名词，甚至可适用于一些非常粗壮的截面，只要它的无支撑长度数倍于它的厚度。在方程 (1) 中，梁的直径是以四次方、梁的长度是以三次方增加的，这意味着两者都是影响梁变形的重要量。



注: 本图表是以加工一个铝零件的成本为10美元作为基础而绘制的。零件材料是铝7075-T6 (可切削性 = 100%, 按刀具寿命为 60min), 成本为近似值, 不反映材料、刀具或热处理的费用。

图21-1 硬的和软的航天材料的相对切削加工成本 (取自 "Profile milling requirements for the hard metals," 1965~1970, Report of the Ad Hoc Machine Tool Advisory Committee to the Department of the Air Force, May, 1965)

21 切削和磨削加工经济学

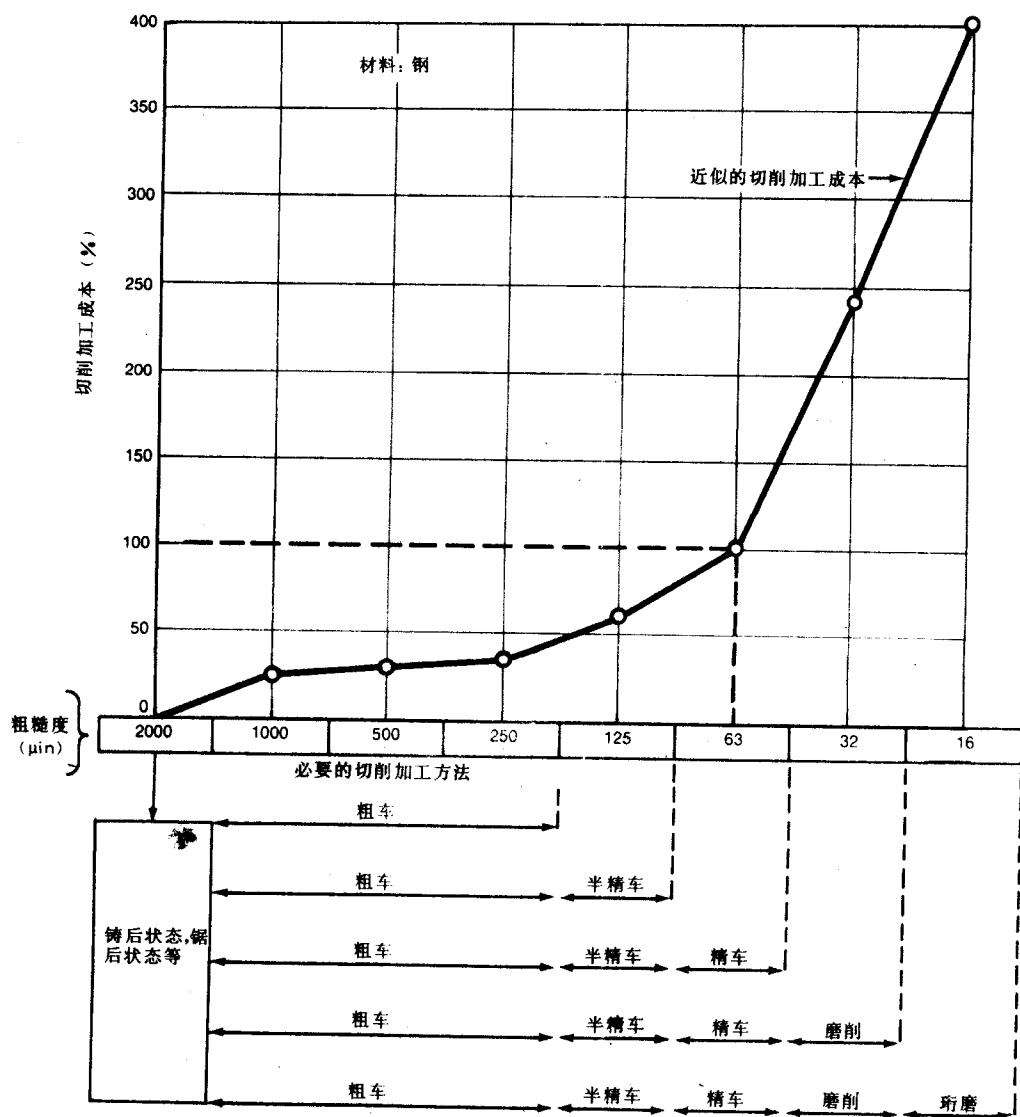
表 21-2 各种合金与 HB300 的 4340 钢相比的相对切削时间

材料类别	牌号	状态	布氏硬度 HB	相对切削时间							
				车削		平面铣削		立铣刀周铣		钻削	攻丝
				高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金	高速钢	硬质合金	高速钢	高速钢
合金钢	4340	淬火并回火	300	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
		淬火并回火	400	2.5	1.7	5.0	2.5	2.0	2.5	1.7	2.5
		淬火并回火	500	3.3	3.3	10.0	3.3	5.0	10.0	5.0	5.0
		淬火并回火	520	5.0	5.0	25.0	10.0	7.0	11.1	10.0	10.0
		退火	210	0.8	0.8	0.4	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7
		正火	320	1.3	1.0	1.7	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0
高强度钢	D6ac	退火	220	0.8	0.8	0.6	0.7	0.5	0.7	0.8	1.0
		淬火并回火	560	—	14.0	—	10.0	—	25.0	1.1②	—
	H11	退火	200	0.8	0.9	0.5	0.5	0.9	1.0	0.8	1.3
		淬火并回火	350	1.7	2.0	1.7	2.0	3.3	5.0	1.4	1.7
		淬火并回火	520	—	5.0	25.0	10.0	—	10.0	10.0	10.0
马氏体时效钢	200,250, 300 号	退火	320	1.7	0.8	1.0	1.4	0.9	0.9	0.9	1.3
		马氏体时效	500	3.3	2.5	2.5	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0
不锈钢(奥氏体)	302,304 317,321	退火	180	0.8	0.9	1.1	1.0	1.0	1.1	0.8	1.0
不锈钢(马氏体)	410,420	退火	180	0.9	0.8	0.8	0.7	1.4	0.8	0.7	0.8
		淬火并回火	300	1.7	1.3	2.0	2.0	1.7	1.3	0.8	1.3
	420	淬火并回火	400	2.5	3.3	5.0	5.0	3.3	5.0	1.7	2.5
弥散硬化不锈钢	17-4PH 17-7PH	退火	170	1.0	0.9	1.1	0.9	1.1	0.8	1.0	1.0
	AM-350	退火	300	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.0	1.4	1.3
	17-4PH 17-7PH	淬火并回火	400	1.5	2.0	3.3	3.3	2.5	5.0	2.5	2.5
	AM-350										
钛合金	Ti-100A	—	175	0.7	0.7	0.8	1.4	0.4	0.8	0.5	0.8
	Ti-5AL-2.5Sn	退火	300	1.4	1.4	1.4	2.5	0.5	1.3	0.7	1.0
	Ti-6AL-4V	退火	310	1.7	2.0	2.0	3.3	1.0	2.0	1.2	1.3
		固溶处理并时效	365	2.0	2.5	2.0	3.3	2.0	2.0	1.7	1.7
	Ti-7AL-4Mo	退火	320	2.0	2.0	2.5	2.0	1.1	1.7	0.9	1.4
	Ti-6AL-6V-2Sn	固溶处理并时效	420	2.5	3.3	2.5	5.0	1.4	2.5	1.4	2.5
	Ti-8AL-1Mo-1V	固溶处理并时效	420	2.5	3.3	2.5	5.0	1.4	2.5	1.4	2.5
	Ti-6AL-6V-2Sn Ti-7AL-4Mo Ti-13V-11Cr-3Al	固溶处理 固溶处理并时效	310 400	2.5 2.5	5.0 5.0	3.3 3.3	3.3 10.0	2.0 3.3	3.3 4.0	3.3 10.0	2.5 3.3
高温合金	Rene 41	固溶处理	280	5.0	5.0	10.0	16.7	5.0	5.0	3.3	2.5
	Inconel 700 U-500	固溶处理并时效	365	10.0	5.0	10.0	16.7	10.0	12.5	10.0	5.0
镍基	Inconel 718	固溶处理	270	5.0	5.0	3.3	10.0	3.3	10.0	3.3	2.5
		固溶处理并时效	370	5.0	5.0	5.0	10.0	12.5	12.5	5.0	5.0
钴基	HS25	固溶处理	200	3.3	5.0	5.0	10.0	5.0	5.0	3.3	2.5
	S-816	固溶处理并时效	300	5.0	4.0	10.0	12.5	10.0	10.0	5.0	3.3
铁基	A-286	固溶处理	200	1.7	2.5	1.4	3.3	2.0	3.3	1.7	1.7
	19-9DL	固溶处理并时效	300	2.0	3.3	3.3	5.0	3.3	12.5	3.3	2.5
铝合金	7075-T6	固溶处理并时效	75~ 150①	0.12	0.3	0.06	0.1	0.1	0.3	0.1	0.5

资料来源: R.L.Vaughn and N.Zlatin, Productivity Aspects of Aerospace Products With Regard to Machinability,ASTME Paper WE S7-29,1967.

①加 500kg 载荷的布氏硬度。

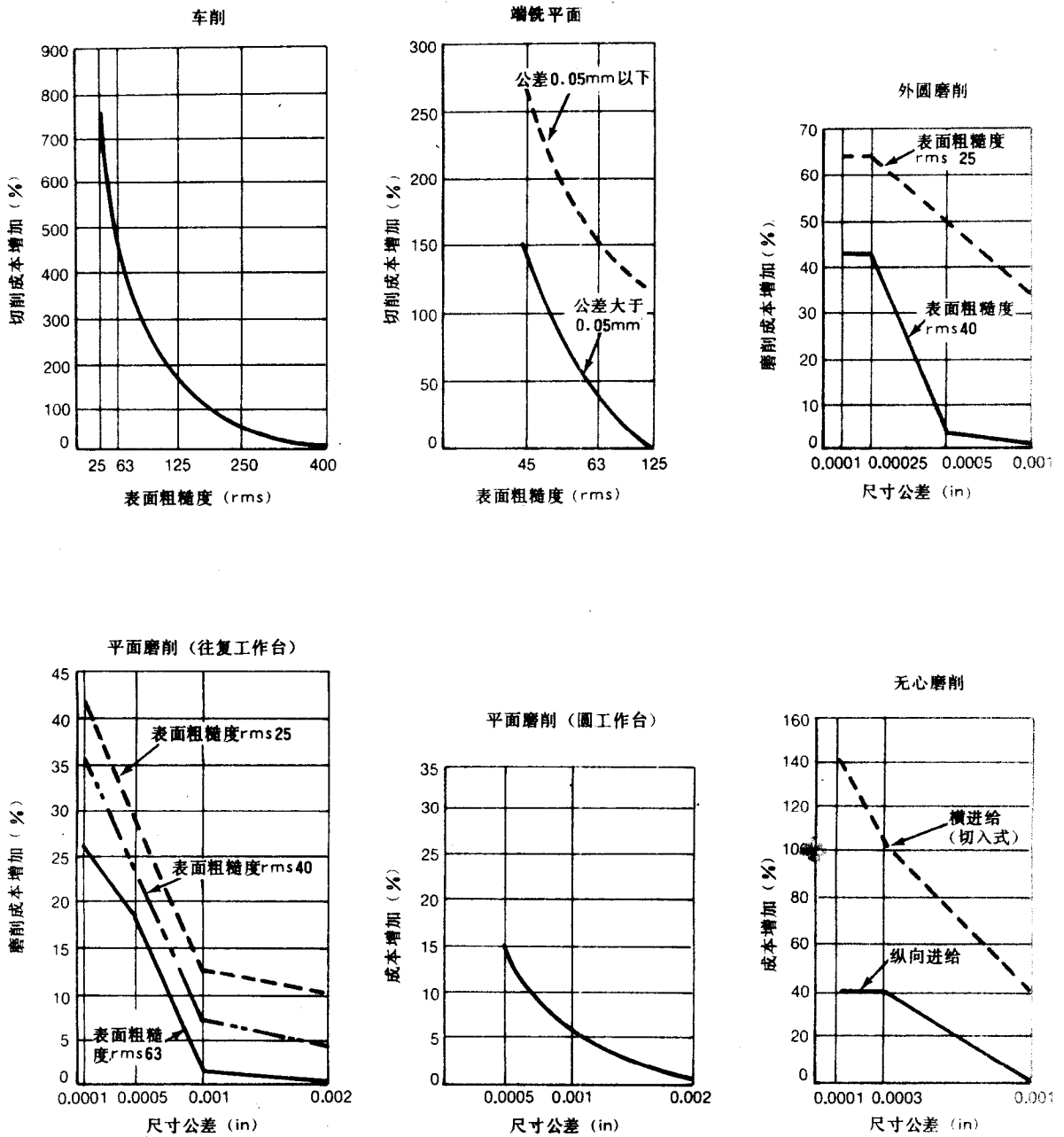
②硬质合金钻头。



注: $1\mu\text{in} = 0.025\mu\text{m}$

图 21-2 钢件切削加工成本与表面粗糙度的关系 (通用电气公司提供的资料)

21 切削和磨削加工经济学



注: lin = 25.4mm

图21-3 公差和表面粗糙度对几种切削加工成本的影响 (L.J.Bayer, Analysis of Manufacturing cost relative to product design, Paper No.56-A-9, American Society of Mechanical Engineers. New York, NY, 1956)

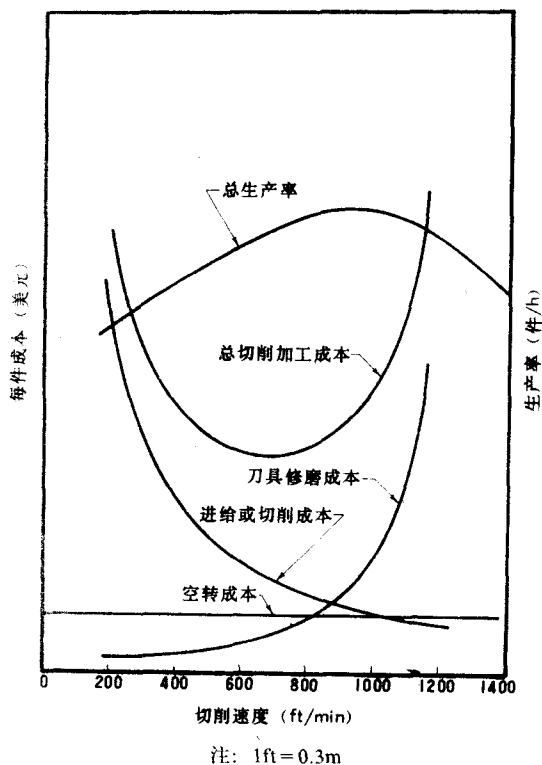


图 21-4 切削加工成本和生产率对切削速度的关系曲线
如进给量, 切削深度, 切削宽度, 刀具材料, 冷却液等。

21.5 计算成本和生产率的步骤

下面的步骤是计算切削加工成本和生产率的一种方法。

(1) 切削数据和切削参数

对于需要加工的材料必须知道刀具寿命与切削加工参数之间关系的有关数据。这种数据可以从手册中查到也可取自车间的经验。重要的是要有一个设计好的表格, 以便记录和积累有用的数据。用于车削、铣削、钻孔、铰孔和攻丝的典型数据表格如表 21-3 到表 21-5 所示。

(2) 成本和生产率的公式

决定各种切削加工方法的成本、加工时间和生产率公式, 在表 21-6 和 21-7 中列出。在成本公式的第一个括弧中的项目决定机床的工作时间和成本, 第二个括弧中的项目决定刀具和修磨刀具的成本。表 21-6 中所给的成本公式是供车削、铣削、钻削、铰孔、攻丝和打中心孔或倒角加工用的。这些公式既适用于普通机床, 也适用于数控机床。应

当指出, 工件搬运和调整的成本另有单独的计算公式。在普通切削加工时, 如车削或铣削等具体操作, 应把工件搬运和调整的两项费用的公式加入相应工序的计算公式。在数控切削加工时, 对每一种切削加工工序按次序各自使用一个公式, 而工件搬运和调整的公式是单独使用的, 这在下面将举例说明。表 21-7 给出了确定每一种工序的加工时间和生产率的公式。为了便于计算, 最好是把所有成本和生产率的公式编出程序后在一台计算机上进行。

(3) 完成计算所需的基本数据

为了确定成本和生产率, 除了刀具寿命数据外, 还需要工时分析数据和刀具成本数据。表 21-8 逐项规定了成本和生产率公式中出现的可变因素。图 21-5 表示各种切削加工方法的调整所包含的因素。注意“R”等于在一次加工操作中工具或刀具总的快速移动距离, 而“C”等于进给过程中的附加移动。表 21-9 中给出了车削和铣削成本公式中各分项目的推导。

上面所说的步骤已有数处应用于下面所举的例子中:

例 1. 确定普通车床的车削成本和生产率。

表 21-10 包含了在普通车床上车削一个直径为 89mm, 长为 48mm 轴的工时分析数据和成本数据。材料是 4340 钢, 淬火并退火到 HB300, 为了成本分析使用了三种刀具 (焊接的硬质合金刀头、不重磨硬质合金刀片和高速钢)。刀具寿命数据在表 21-11 中给出。刀具寿命对切削速度的数据组, 用 C-7 硬质合金刀具材料时用数 (1)、(2)、(3)、(4) 表示, 而用高速钢刀具材料时用 (5)、(6)、(7)、(8) 表示。

采用焊接硬质合金、不重磨硬质合金刀片和整体高速钢刀具车削的车刀调整是相同的。

采用上述数据和表 21-6 和 21-7 的车削公式可确定切削加工的成本和生产率。计算是在 IBM1130 计算机上完成的, 打印输出的计算结果如图 21-6 所示。应当指出有三组计算结果: 一组对应于焊接硬质合金刀具; 一组对应于不重磨硬质合金刀片; 另一组对应于整体高速钢刀具。对四种切削速度中的每一种速度都采用 C-7 硬质合金刀具材料的刀具寿命数据和焊接硬质合金刀具工时定额数据来进行成本计算。

21 切削和磨削加工经济学

表 21-3 车削加工的刀具寿命数据

材 料	状 态 和 显微组织	布 氏 硬 度 HB	刀具材料		刀具几何角度						切 削 液 ①	切 削 深 度 in	进 给 in / r	刀 具 寿 命 in	刀具寿命(min) 对 切削速度(ft / min)		
			商 品 名	工 业 牌 号	刃 倾 角 (°)	侧 前 角 (°)	导 角 (°)	副 偏 角 (°)	后 角 (°)	刀尖 半径 in					5	15	30
合金钢 8640	淬火并回火	400	-	T1HSS	0	15	0	5	5	0.005	11 1:20	0.060	0.009	0.060	80	67	58
	回火马氏体																
8640	退火	170	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	15	30	45
	50%P-50%F																60
8640	球化处理	180	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	15	30	45
	碳化物+铁素体														695	580	525
8640	退火	190	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	15	30	45
	75%P-25%F														590	450	380
8640	退火	250	78B	C-6	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	1	6	20
	魏氏组织														910	600	440
8640	退火	250	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	15	30	45
	魏氏组织														640	520	440
8640	淬火并回火	300	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	5	15	20
	回火马氏体														660	400	315
8640	淬火并回火	400	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	5	15	20
	回火马氏体														480	365	318
52100	球化处理	190	-	T1 高碳钢	0	15	0	5	5	0.005	11 1:20	0.060	0.009	0.060	15	30	35
	碳化物+铁素体														137	123	120
52100	球化处理	190	78B	C-6	0	6	0	6	6	0.040	00	0.100	0.010	0.015	15	30	45
	碳化物+铁素体														430	340	300

①切削液规范:00 为干切;11 为水溶性油。

注:lin = 25.4mm;ift = 0.3in。

表 21-4 铣削加工的刀具寿命数据

端 铣 平 面																							
材 料	状 态 和 显微组织	刀具材料		刀具几何角度(°)							切削液规范	铣 削 深 度 in	铣 削 宽 度 in	进 给 in / 齿	刀 具 寿 命 in	每齿刀具寿命 (工件移动量 in) 对 切削速度(ft/min)							
		布氏 硬度 HB	商品名	工业 牌号	逆铣 或 顺铣	轴 向 前 角	径 向 前 角	导 角	顶 前 角	刃 倾 角							副 偏 角	端 刃					
																		后角 (副)	后角 (副)				
不锈钢(马氏体) 410	淬火并回火	353	370	C-6	逆铣	0	-7	45	-5	5	5	8	8	干切	0.100	2.0	0.010	0.016	15 540	45 420	60 365	90 230	
410	淬火并回火	HRC 45	-	T15 高速钢	逆铣	0	0	45	0	0	5	8	8	水溶性油 1:20	0.060	2.0	0.005	0.060	15 100	30 79	50 68		
410	回火马氏体																						
铣 键 槽																							
材 料	状 态 和 显微组织	刀具材料		刀具几何角度(°)							切削液规范	铣 削 深 度 in	铣 削 宽 度 in	进 给 in / 齿	刀 具 寿 命 in	每把铣刀的寿命 (工件移动量 in) 对 切削速度(ft/min)							
		布氏 硬度 HB	商品名	工业 牌号	铣刀类型	直径 in	内 数	槽 长 in	逆铣 或 顺铣	螺 丝 角							径 向 前 角	倒 角	端 刃				
																			后角 (副)	后角 (副)			
合金钢 4340	退火	213	-	M2 高速钢	整体 高速钢	0.750	4	2	-	30	10	45× 0.060 in	1	3	7	0.250	0.750	0.002	0.012	50 190	120 153	240 125	
合金钢 4340	球化处理后 的硬化物 和铁素体																						
立 铣 刃 周 铣																							
材 料	状 态 和 显微组织	刀具材料		刀具几何角度(°)							切削液规范	铣 削 深 度 in	铣 削 宽 度 in	进 给 in / 齿	刀 具 寿 命 in	每把铣刀的寿命 (工件移动量 in) 对 切削速度(ft/min)							
		布氏 硬度 HB	商品名	工业 牌号	铣刀类型	直径 in	内 数	槽 长 in	逆铣 或 顺铣	螺 丝 角							径 向 前 角	倒 角	端 刃				
																			后角 (副)	后角 (副)			
高强度 D6ac	退火	233	-	M2 高速钢	整体 高速钢	0.750	4	2	顺铣	30	10	45× 0.060 in	1	3	7	0.250	0.750	0.040	0.012	75 290	130 240	260 190	
高强度 D6ac	60%P- 40%F																						

注:lim = 25.4mm;dt = 0.3mm

表 21-5 钻削、铰孔和攻丝的刀具寿命数据

钻																	
材料	状态和显微组织	布氏硬度 HB	钻头材料		钻头尺寸			钻头几何角度(°)				切削液规范①	孔深 in	进给 in/r	钻头寿命 in	钻头寿命(孔数) 对 切削速度(ft/min)	
			商品名	工业牌号	钻头类型	直径 in	长度 in	槽长 in	钻尖型式	螺旋角	顶角						钻唇后角
合金钢 4340	淬火并回火	341	—	M2 高速钢	0.250	4.0	2.75	标准	29	118	7	31	0.5 通孔	0.002	0.015	25 50 75 100	
	回火马氏体															98 84 76 70	
4340	淬火并回火	341	—	M2 高速钢	0.250	4.0	2.75	标准	29	118	7	31	0.5 通孔	0.005	0.015	25 50 75 100	
	回火马氏体															80 65 56 50	

铰 孔																
材料	状态和显微组织	布氏硬度 HB	铰刀材料和尺寸				铰刀几何角度(°)			切削液规范①	孔径的允许留量 in	孔深 in	进给 in/r	刀具寿命 in	铰刀寿命(孔数) 对 切削速度(ft/min)	
			商品名	工业牌号	直径 in	槽数	型式	螺旋角和旋向	倒角							后角
高强度钢 250号马氏体时效钢	退火并马氏体时效处理	HRC 50	—	M2 高速钢	0.272	6	夹头装夹	0° 左右旋	45° × 0.060 in	7	52	0.022	0.5 通孔	0.005	0.006	20 35 170
	马氏体															90 80 50

攻 丝																
材料	状态和显微组织	布氏硬度 HB	丝锥材料	丝锥尺寸	槽数	丝锥型式	螺旋比例 %	切削液规范①	孔深 in	丝锥寿命 in	丝锥寿命(孔数) 对 切削速度(ft/min)					
铁基高温合金 镍钼 A-286	固溶处理并时效	320	M10 高速钢	5/16 18NC	2	中锥 螺丝槽	75	53	0.5 通孔	丝锥断裂	12 31 132	50 40 30				
	马氏体															

① 切削液规范: 31 为硫化矿物油+脂油—轻切削载荷用; 52 为氯化矿物油+脂油—中等切削载荷用; 53 为氯化矿物油—重切削载荷用。

注: in = 25.4mm, ft = 0.3m

表 21-6 普通切削加工费用计算公式

车削													
$C = M \left[\frac{D(L+e)}{318f_v} + \right.$	$\frac{R}{r}$	$+ t_i + \frac{DLt_d}{318f_v T} \left. \right] + \frac{DL}{318f_v T} \left[\frac{C_p}{(K_1+1)} + Gt_s + \frac{Gt_h}{K_2} + \frac{C_c}{K_3} + C_w + Gt_p \right]$											
铣削	$C = M \left[\frac{D(L+e)}{318Zf_v} + \right.$	$\frac{R}{r}$	$+ t_i + \frac{Lt_d}{ZT_i} \left. \right] + \frac{L}{ZT_i} \left[\frac{C_p}{(K_1+1)} + Gt_s + \frac{Gt_h}{K_2} + \frac{ZC_c}{K_3} + C_w + Gt_p \right]$										
钻孔或铰孔	$C = M \left[\frac{D(L+e)}{318f_v} + \right.$	$\frac{R}{r}$	$+ t_i + \frac{Lt_d}{T_i} \left. \right] + \frac{L}{T_i} \left[\frac{C_p}{(K_1+1)} + Gt_s + Gt_h \right]$										
攻丝	$C = M \left[\frac{D(L+e)}{159pv} + \right.$	$\frac{R}{r}$	$+ t_i + \frac{Lt_d}{T_i} \left. \right] + \frac{L}{T_i} \left[\frac{C_p}{(K_1+1)} + Gt_s + Gt_h \right]$										
打中心孔或倒角	$C = M \left[\frac{D(L+e)}{318f_v} + \right.$	$\frac{R}{r}$	$+ t_i + \frac{Uc_d}{T_h} \left. \right] + \frac{U}{T_h} \left[\frac{C_p}{(K_1+1)} + Gt_s + Gt_h \right]$										
搬运和调整	$t_L + \frac{t_o}{N_i} \quad]$												
美元 / min	进刀时间	快速移动时间	上下料时间	调整时间	刀具转位时间	纯刀更换时间		刀具折旧费	刀具重磨费	重新焊接刀头或重圆刀片	刀片费	砂轮费	刀具重调费

21 切削和磨削加工经济学

表 21-7 计算单件加工时间和生产率的公式

计算单件加工时间的公式	计算单件加工时间的公式
车削: $t_m = \frac{D(L+e)}{318f_r v} + \frac{R}{r} + t_i + \frac{DLt_d}{318f_r v T}$	攻丝: $t_m = \frac{D(L+e)}{159p v} + \frac{R}{r} + t_i + \frac{Lt_d}{T_i}$
铣削: $t_m = \frac{D(L+e)}{318Zf_1 v} + \frac{R}{r} + t_i + \frac{Lt_d}{ZT_i}$	打中心孔或倒角: $t_m = \frac{D(L+e)}{318f_r v} + \frac{R}{r} + t_i + \frac{U_c t_d}{T_h}$
钻孔和铰孔: $t_m = \frac{D(L+e)}{318f_r v} + \frac{R}{r} + t_i + \frac{Lt_d}{T_i}$	计算生产率的公式 $P = \frac{60}{(\Sigma t_m + t_i + \frac{L_c}{N_i})}$

表 21-8 成本和生产率公式中的变量(定义和应用)

变量	定 义	在切削加工中的应用				
		车削	铣削	钻孔和铰孔	攻丝	打中心孔
C	加工一个工件的费用:美元/件	✓	✓	✓	✓	✓
C_c	每个刀片的费用:美元/片	✓	✓	无	无	无
C_p	工具或刀具的购置费:美元/刀具	✓	✓	✓	✓	✓
C_w	磨刀用的砂轮费用:美元/刀具	✓	✓	无	无	无
d	切削深度:mm	✓	✓	无	无	无
D	车削中的工件直径;铣削、钻孔、铰孔、攻丝中的刀具直径:mm	✓	✓	✓	✓	✓
e	进给速度(f_r 或 f_p)中附加移动,包括趋近、超程和所有的定位移动:mm	✓	✓	✓	✓	✓
f_r	进给:mm/r	✓	无	✓	无	✓
f_f	进给:mm/齿	无	✓	无	无	无
G	磨刀部门的工资+管理费:美元/min	✓	✓	✓	✓	✓
k_1	车刀、铣刀、钻头、铰刀或丝锥报废前的磨刀次数	✓	✓	✓	✓	✓
k_2	车刀或铣刀的刀片或刀头重焊或重调前的磨刀次数	✓	✓	无	无	无
k_3	刀头(或刀片)报废前的重磨(或转位)次数	✓	✓	无	无	无
L	车削或铣削中的工件长度或钻孔、铰孔、攻丝中全部孔的总长度:mm	✓	✓	✓	✓	✓
M	车床、铣床或钻床上的工资和管理费:美元/min	✓	✓	✓	✓	✓
n	泰勒(Taylor)公式中的刀具寿命指数	✓	✓	✓	✓	无
N_L	一个批量的工件数	✓	✓	✓	✓	✓
N_s	两次磨刀之间加工的工件数	✓	✓	✓	✓	✓
p	螺距:mm	无	无	无	✓	无
P	生产率:工件数/h	✓	✓	✓	✓	✓
r	快速移动速度:mm/min	✓	✓	✓	✓	✓
R	加工一个工件时工具或刀具快速移动的总长度:mm	✓	✓	✓	✓	✓
S	刀具寿命 $T=1\text{min}$ 时的标准切削速度:m/min	✓	无	无	无	无
S_i	刀具寿命 $T_i=1\text{mm}$ 时的标准切削速度:m/min	无	✓	✓	✓	无

(续)

变量	定 义	在切削加工中的应用				
		车削	铣削	钻孔和 铰孔	攻丝	打中心孔
t_b	车刀刀头重焊或重调时间:min	✓	✓	无	无	无
t_d	在换刀装置中更换磨钝刀具的时间:min	✓	✓	✓	✓	✓
T_i	工序之间从一种刀具换到另一种刀具的转位(自动或手动)时间:min	✓	✓	✓	✓	✓
t_L	装卸工件的时间:min	✓	✓	✓	✓	✓
t_m	完成一个工序的时间(平均):min	✓	✓	✓	✓	✓
t_o	一个加工工序的机床调整时间:min	✓	✓	✓	✓	✓
t_p	机外(在工具室中)预调刀具的时间:min	✓	✓	✓	✓	✓
t_s	车刀、铣刀、钻头、铰刀和丝锥的重磨时间:min/一把刀具	✓	✓	✓	✓	✓
T	车刀使用到磨钝的刀具寿命:min	✓	无	无	无	无
T_h	每次重磨后可加工的孔数:	无	无	无	无	✓
T_i	钻头、铰刀、丝锥或铣刀的一个刀齿到用钝为止工件或刀具的移动量:mm	无	✓	✓	✓	无
U_c	在工件上加工的中心孔数或倒角数:	无	无	无	无	✓
V	切削速度:m/min	✓	✓	✓	✓	✓
W	切削宽度:mm	无	✓	无	无	无
Z	铣刀齿数或丝锥的槽数:	无	✓	无	✓	无

表 21-9 车削和铣削成本公式中各项的推导

项	车 削	铣 削
r/min 换算为切削速度	$V = \frac{\pi D \times r/\text{min}}{12}, r/\text{min} = \frac{3.82v}{D}$	$r/\text{min} = \frac{3.82v}{D}$
进给率,mm/min	$\frac{\text{mm}}{r} \times \frac{r}{\text{min}} = f_r \times \frac{3.82v}{D}$	$\frac{\text{mm}}{\text{齿}} \times \text{齿数} \times \frac{r}{\text{min}} = f_r \times z \times \frac{3.82v}{D}$
$N_s =$ 刀具两次重磨间可加工的工件数	$\frac{\text{刀具寿命, min}}{\text{进给时间, min}} = \frac{3.82f_r v T}{DL}$	$\frac{\text{刀具寿命(切削总长度, mm)}}{\text{每件切削长度, mm}} = \frac{z T_i}{L}$
进给时间 = $\frac{\text{进给距离}}{\text{mm/min}}$	$\frac{\frac{L+e}{3.82f_r v}}{\frac{D}{3.82f_r v}} = \frac{D(L+e)}{3.82f_r v}$	$\frac{(e+L)D}{3.82Zf_r v}$
快速移动时间	$\frac{R}{r}$	$\frac{R}{r}$
单件调整时间 = $\frac{\text{调整时间}}{\text{每批件数}}$	$\frac{t_o}{N_i}$	$\frac{t_o}{N_i}$
换刀时间 = $\frac{\text{总换刀时间}}{N_s = \text{两次磨刀间加工件数}}$	$\frac{DLtd}{3.82f_r v T}$	$\frac{Lt_d}{ZT_i}$

21 切削和磨削加工经济学

(续)

项	车 削	铣 削
刀具折旧费 $= \frac{1}{N_s} \times \frac{\text{刀具购置费}}{\text{刀具报废前重磨次数}}$	$\frac{1}{N_s} \times \frac{C_p}{(K_1 + 1)}$	$\frac{1}{N_s} \times \frac{C_p}{(K_1 + 1)}$
磨刀费 $= \frac{1}{N_s} \times G \times \text{磨刀时间}$	$\frac{1}{N_s} \times G t_s$	$\frac{1}{N_s} \times G$
重焊(或重调)刀头费用 $= \frac{1}{N_s} \times \frac{\text{重焊时间}}{\text{两次重焊间的磨刀次数}}$	$\frac{1}{N_s} \times G \frac{t_b}{K_2}$	$\frac{1}{N_s} \times G \frac{t_b}{K_2}$
刀片或刀头费用 $= \frac{1}{N_s} \times \frac{\text{每一刀片或刀头的费用}}{\text{刀头报废前的磨刀次数}}$	$\frac{1}{N_s} \times \frac{C_c}{K_3}$	$\frac{1}{N_s} \times \frac{ZC_c}{K_3}$
砂轮费用 $= \frac{1}{N_s} \times \text{磨刀用砂轮费用}$	$\frac{1}{N_s} \times C_w$	$\frac{1}{N_s} \times C_w$

表 21-10 车削 4340 钢轴的工时分析和成本数据

变量	定 义	焊接硬质 合金刀具	不重磨硬质 合金刀具	整体高速 钢刀具
R	加工一个工件的刀具快速移动总长度:mm	690	690	690
C_t	每个刀头或刀片费用:美元	5.00	3.15	—
C_p	刀具购置费用:美元	6.70	28.30	18.30
C_w	磨刀用砂轮费用:美元	0.07	—	0.02
d	切削深度:mm	2.50	2.50	2.50
D	车削时的工件直径:mm	8.90	8.90	8.90
f_r	进给:mm/r	①	①	①
G	磨刀机的工资和管理费:美元/min	0.40	—	0.40
K_1	车刀报废前的重磨次数(或不重刀片的刀夹报废前的刀片 转位次数):	12	2000	36
K_2	车刀重焊或重调前的磨刀次数:	6	—	—
K_3	刀片报废前的重磨(或转位)次数:	12	8	—
L	车削工件的长度:mm	483	483	483
M	车床的工资和管理费:美元/min	0.15	0.15	0.15
N_L	每批件数:	20	20	20
r	快速移动速度:m/min	2.54	2.54	2.54
t_b	重焊车刀的时间:min	10	—	—
t_d	更换和重调车刀或不重磨刀片转位时间:min	5	4	5
t_L	工件装卸时间:min	2.3	2.3	2.3
t_o	机床调整时间:min	21	21	21
t_s	磨刀时间:min	15	—	10
T	刀具寿命:到刀具磨钝为止的总时间:min	①	①	①
v	切削速度:m/min	①	①	①
e	进给时刀具的附加移动量(包括趋近和超程):mm	12.7	12.7	12.7

①数值取自表 21-14 中的刀具寿命数据。

表 21-11 车削 4340 钢的刀具寿命数据

材料	状态 和 显微组织	布氏 硬度 HB	刀具材料		刀具几何角度(°)						切削液规范	切削深度 in	进给 in/r	刀具寿命 in	刀具寿命(min) 对 切削速度(ft/min)			
			商品名	工业牌号	刃倾角	主前角	导角	副偏角	后角	刀尖半径					(1)	(2)	(3)	(4)
4340	淬火并回火	300	78	C-7	0	6	0	6	6	0.040	干切	0.100	0.010	0.015	15	30	45	50
	回火马氏体														470	400	360	325
4340	淬火并回火	300	—	T1 高速钢	0	15	0	5	5	0.125	水溶性油 1:20	0.060	0.010	0.060	(5) 15	(6) 30	(7) 45	(8) 60
	回火马氏体														77	63	54	45

注:lin = 25.4mm; 1ft = 0.3m

注意打印输出的结果不仅包括每件的成本和生产率(件/h),也包括构成总成本的所有成本因素。在使用焊接硬质合金刀具的情况下,有10个成本因素;对不重磨硬质合金刀片,有7个因素;而对整体高速钢刀具具有8个因素。粗略看一下图21-6的成本因素,就可以指出哪些是重要的和哪些是不重要的。例如,用焊接硬质合金刀具,当切削速度为143m/min时,每件的总成本为5.33美元。其中,进给切削加工成本1.5美元,上下料成本0.92美元,调整成本0.42美元,换刀成本0.49美元和刀具刃磨成本1.48美元。次要的因素如下:快速移动成本0.11美元,刀具折旧成本0.13美元。再次焊接成本0.16美元,刀片成本0.1美元和砂轮成本0.02美元。

对不重磨硬质合金刀片(图21-6)可看出刀具成本几乎等于零。另一方面,当用整体高速钢刀具车削时,刀具成本在总成本中占很大部分。所以,当用高速钢以14m/min的速度车削时,每件总成本是21.29美元,换刀成本是1.29美元,而刀具的刃磨成本是2.58美元。

图21-7表示车削HB300的4340钢的加工成本和生产率对切削速度的关系曲线。图中有焊接硬质合金,不重磨硬质合金和高速钢刀具的曲线。这些数据表示,当使用不重磨硬质合金刀具时,单件成本随着切削速度的增加而降低。用焊接硬质合金刀具时,在速度为110m/min的情况下的单件成本最低。用高速钢刀具时,在速度为18m/min左右的单件成本最低。在经验数据范围内,用不重磨

硬质合金刀片车削的最低成本约为3.09美元;用焊接硬质合金刀车削的成本约为4.44美元;而用高速钢车削的成本约为18.62美元。也是在这个经验数据范围内,用不重磨硬质合金刀片的生产率是8件/h;用铜焊硬质合金刀具的生产率是7件/h;而用高速钢刀具的生产率是1.8件/h。

如用人工计算成本,则在表21-12中给出了前述例子中用焊接硬质合金刀车削的成本计算。

例2.确定普通铣床上端铣平面时的加工成本和生产率。

表21-13是铣削一块宽50mm,长200mm平面的工时分析和成本数据。用直径为100mm铣刀从200mm长的工件上进行50mm宽的铣削。本例的装夹方式与图21-5所示的铣削加工装夹方式相同。

表21-14给出了合金钢刀具的寿命数据。表中对合金的刀具寿命(mm/齿)与切削速度(mm/min)的有关数据组用(1)到(6)的数字来标志。

在IBM1130计算机上用表21-6中的铣削加工公式计算单件成本,并用表21-7的铣削加工公式计算生产率。在图21-8中给出了计算机打印输出的结果。

对计算机的输出结果进行检查后可揭示主要的成本因素和使用不同类型刀具时的单件成本和生产率比较。例如,打印输出的结果表明使用一把不重磨硬质合金铣刀有较高的生产率和较低的成本。从

21 切削和磨削加工经济学

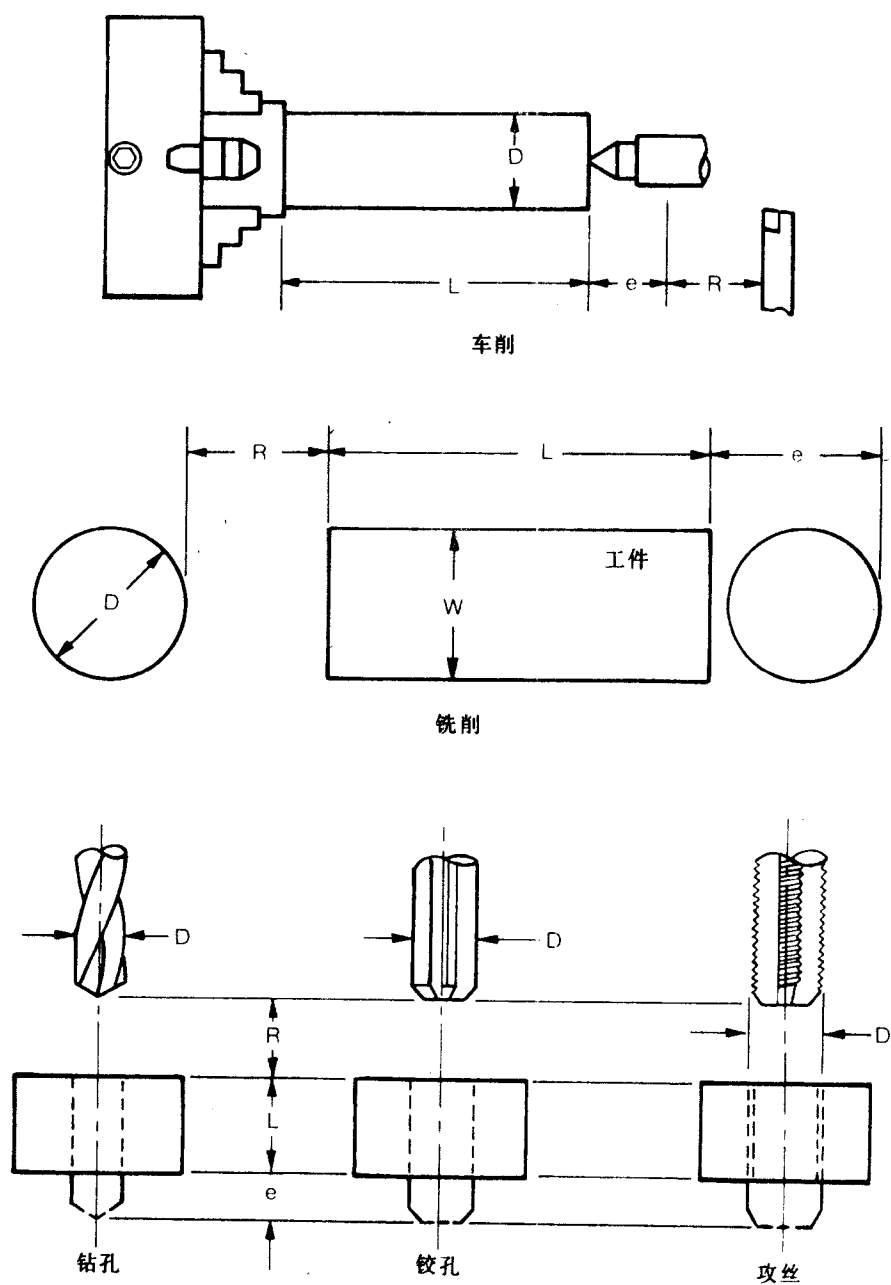


图 21-5 不同切削加工方法的调整

