

机械工程手册

第二分册 金属切削方法

TH-62

3

3:46

机械工程手册

第 46 篇 金属切削方法

(试 用 本)

机械工程手册

电机工程手册

编辑委员会

5/16/5



机械工业出版社

本篇较全面地介绍各类普通机床、高效机床和高精度机床的切削加工方法，列叙了有关机械加工工艺和切削原理的理论基础，常用的工艺参数，高效刀具和专用夹具，附加装置的结构，各类典型加工方法的工作要点和消除缺陷的措施等。并重点介绍特大、特小、复杂型面和难切材料工件等的高效、高精度加工方法，此外还适当地介绍了一些“蚂蚁啃骨头”和简易加工方法。

机 械 工 程 手 册

第 46 篇 金属切削方法

(试 用 本)

第一机械工业部机床研究所 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

广西民族印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 50 · 插页 8 · 字数 1,466 千字

1981 年 12 月广西第一版·1981 年 12 月广西第一次印刷

印数 00,001—14,300 · 定价 3.80 元

*

统一书号: 15033 · 4639

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来，机械工业在毛主席的革命路线指引下，贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针，取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验，同时采用国外先进技术，加强机械工业科学技术的基础建设，适应实现“四个现代化”的需要，我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用，也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书，着重介绍各专业的理论基础，常用计算公式，数据、资料，关键问题以及发展趋向。在编写中，力求做到立足全局，勾划概貌，反映共性，突出重点。在内容和表达方式上，力求做到深入浅出，简明扼要，直观易懂，归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时，《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成，构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分，共七十九篇；《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分，共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的，有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面, 广泛征求意见, 先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验, 试用本在内容和形式方面, 一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证, 提出批评和建议, 以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第46篇, 由第一机械工业部机床研究所主编, 参加编写第1章的有哈尔滨工业大学、无锡轻工业学院、甘肃工业大学、华南工学院、上海市业余工业大学、机床研究所, 编写第2章的有沈阳第三机床厂、齐齐哈尔第一机床厂、大连机床厂、长城机床厂、南京机床厂、沈阳第一机床厂、上海市业余工业大学、沈阳机电学院, 编写第3章的有大连组合机床研究所、沈阳中捷人民友谊厂、昆明机床厂、株洲湘江机器厂, 编写第4章的有北京第一机床厂、河北工学院, 编写第5章的有济南第二机床厂、东北工学院, 编写第6章的有长沙机床厂, 编写第7章的有上海机床厂、无锡机床厂、杭州机床厂、上海工具厂、北京市机电研究院、郑州磨料磨具磨削研究所、机床研究所、上海市业余工业大学、浙江大学, 编写第8章的有大河机床厂、北京第三机床厂、北京第二机床厂、上海第三机床厂、新乡机床厂、哈尔滨量具刃具厂、机床研究所, 编写第9章的有重庆机床厂、天津第一机床厂、宜昌长江机床厂、太原重型机器厂、第二汽车制造厂发动机分厂、秦川机床厂、上海市业余工业大学, 编写第10章的有重庆大学, 编写第11章的有西北工业大学、北京工业学院、成都新都机械厂、南京晨光机器厂、北京首都机械厂, 编写第12章的有上海建设机器厂、哈尔滨工业大学、上海市业余工业大学、哈尔滨机联机器厂、北京第一机床厂、济南第二机床厂、陕西机械学院、机床研究所等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助, 在此一并致谢。

机械工程手册 编辑委员会编辑组
电机工程手册

1.8 “群蚁围攻”——多机加工	46-734
2 复杂零件的简易加工	46-736
2.1 直齿锥齿轮的简易加工	46-736
2.2 弧齿锥齿轮的简易加工	46-739
2.3 蜗轮的简易加工	46-743

2.4 简易座标镗孔	46-746
2.5 简易仿形加工	46-748
附录	46-752
参考文献	46-781

常用符号

A_c ——单刀的切削面积 mm^2
 A_{cs} ——总切削面积 (如铣削) mm^2
 A_f ——切屑与刀具前面的接触面积 mm^2
 A_j ——切齿机的轴向轮位的调整量 mm
 A_a ——刀具后面
 A_{a1} ——刀具第一后面, 白刃, 消振棱
 A'_a ——刀具副后面
 A'_{a1} ——刀具第一副后面, 刃带, 白刃
 A_γ ——刀具前面
 $A_{\gamma 1}$ ——刀具第一前面, 倒棱
 a ——中心距、标准齿轮及高变位齿轮的中心距 mm
 a' ——角变位齿轮的中心距 mm
 a_e ——切屑厚度 mm
 a_e ——柱铣时的切削深度, 周边磨时的磨削深度, 端铣时工件被切部分宽度 mm
 a_f ——每齿进给量, 齿升量 毫米/每齿, mm
 a_o ——切削厚度 mm
 a_p ——单刃刀具和端铣刀切削时的切削深度, 端面磨时的磨削深度, 切槽、柱铣和切入磨时工件被切部分宽度 mm
 B_j ——切齿机的床位调整量 mm
 b ——齿轮齿宽, 砂轮宽度 mm
 b_c ——切屑宽度 mm
 b_o ——切削宽度 mm
 b_{a1} ——刀具后面上白刃、消振棱带的宽度, 即刀具第一后面的宽度 mm
 $b_{\gamma 1}$ ——负倒棱宽度, 即刀具第一前面的宽度, 断屑器棱带的宽度 mm
 b_e ——过渡刃的长度 mm
 b_{lim} ——不引起自振的最小极限切削宽度 mm
 C_F ——切削力系数
 C_p ——工艺能力系数
 c ——比热 $\text{kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
 c ——径向间隙 mm
 c^* ——径向间隙系数
 d ——直径, 分度圆直径 mm
 d' ——节圆直径 mm
 d_a ——齿顶圆直径, 齿轮大端外径 mm
 d_f ——齿根圆直径 mm
 d_0 ——刀具直径 mm

d_s ——砂轮直径 mm
 d_w ——工件直径 mm
 d_y ——滚圆盘直径 mm
 E ——准双曲面齿轮副的垂直偏距 mm
 E'' ——双啮中心距极限偏差 μ
 E_j ——切齿机的垂直轮位调整量 mm
 E_{ms} ——量柱测量距最小偏差 μ
 E_{ss} ——齿厚最小偏差 μ
 E_{ws} ——公法线平均长度最小偏差 μ
 e ——齿槽宽, 分度圆齿槽宽, 偏心距, 加工余量 mm
 F ——作用力 kgf
 F ——接触区长度与齿面长度之比
 F_a ——切削力的轴向分力 kgf
 F_c ——主切削力, 切向磨削力 kgf
 F'_c ——单位刃宽切削力, 单位宽度切向磨削力 kgf/mm
 F'_i ——切向综合公差 μ
 $\Delta F'_i$ ——切向综合误差 μ
 F'_r ——径向综合公差 μ
 $\Delta F'_r$ ——径向综合误差 μ
 F_f ——走刀抗力, 轴向磨削力 kgf
 F_{fa} ——刀具后面上的摩擦力 kgf
 $F_{f\gamma}$ ——刀具前面上的摩擦力 kgf
 F_H ——铣削进给力 kgf
 F_{ns} ——剪切面上的法向力 kgf
 F_{na} ——刀具后面上的法向力 kgf
 $F_{n\gamma}$ ——刀具前面上的法向力 kgf
 F_p ——吃刀抗力, 法向磨削力 kgf
 F_p ——周节积累公差 μ
 ΔF_p ——周节积累误差 μ
 F'_p ——单位宽度法向磨削力 kgf/mm
 F_{px} ——轴向齿距的法向极限偏差 μ
 F_r ——齿圈径向跳动公差 μ
 F_r ——切削合力 kgf
 ΔF_r ——齿圈径向跳动 μ
 F_s ——剪切面上的切向力 kgf
 F_t —— F_f 和 F_p 的合力并垂直于 F_c kgf
 F_v ——铣削垂直分力 (在铣刀旋转平面内且垂直于进给方向) kgf
 F_w ——公法线长度变动公差 μ

46-XII 常用符号表

ΔF_w ——公法线长度变动 μ
 F_β ——齿向公差 μ
 ΔF_β ——齿向误差 μ
 f ——每转或每行程的进给量 mm/r, 毫米/行程
 f_a ——中心距极限偏差 μ
 f_f ——齿形公差 μ
 Δf_f ——齿形误差 μ
 f_g ——展成运动进给量 mm/r
 f'_i ——切向相邻齿综合公差 μ
 $\Delta f'_i$ ——切向相邻齿综合误差 μ
 f''_i ——径向相邻齿综合公差 μ
 $\Delta f''_i$ ——径向相邻齿综合误差 μ
 f_{pb} ——基节极限偏差 μ
 Δf_{pb} ——基节偏差 μ
 f_{pt} ——周节极限偏差 μ
 Δf_{pt} ——周节偏差 μ
 f_r ——径向进给量 mm/r
 f_t ——切向进给量, 纵磨时工件纵向进给量, 卧轴圆台平面磨床的工作台横向进给量 mm/r
 f_x ——砂轮修整导程 mm/r
 G ——重量 kg
 G ——平面上的安装角 度
 G ——磨削比 (工件切除总体积与砂轮磨耗体积之比)
 g ——重力加速度 mm/s²
 H ——正视方向安装角 度
 H_{max} ——切削表面残留面积的高度 μ
 h ——齿高, 全齿高, 断 (卷) 屑台高度 mm
 h' ——工作齿高 mm
 h_a ——齿顶高 mm
 h_a^* ——齿顶高系数
 $\bar{h}_a$ ——大端法向弦齿高, 弦齿高 mm
 $\bar{h}_c$ ——固定弦齿高 mm
 h_f ——齿根高 mm
 h_y ——硬化层深度 μ
 I ——弧齿锥齿轮刀盘轴线倾斜角 (刀倾鼓轮回转角) 度
 i ——传动比, 即被动齿轮与主动齿轮齿数比, 速比, 即主动轴转速与被动轴转速比
 $inv \alpha$ ——渐开线函数
 J ——弧齿锥齿轮刀盘轴线倾斜方向角 (刀转鼓轮回转角) 度
 J ——热功当量 kcal/(kgf·m)
 j_n ——最小侧隙 mm
 K ——静刚度 kgf/ μ
 K ——铲背量 mm
 K ——导热系数 kcal/(m·s·°C)
 K ——切屑收缩系数, 切削力修正系数
 K_{cb} ——单位切削宽度的切削刚度 (动态切削力系数) kgf/(mm· μ), kgf/mm²

K_{Dm} ——机床切削自振下的动刚度 kgf/ μ
 KT ——月牙洼磨损深度 mm
 k ——测量公法线的跨齿数, 修正系数
 L ——转动安装角 度
 l ——被切削层长度, 切削行程 mm
 l_c ——切屑长度 mm
 l_f ——刀-屑接触长度 mm
 l_{f1} ——刀-屑接触处内摩擦部分的长度 mm
 l_n ——断 (卷) 屑台离刀刃的距离 mm
 M ——切削扭矩 kgf·m
 M ——量柱测量距 mm
 m ——模数 mm
 m —— $v-t$ 关系曲线中 t 的指数
 m_m ——齿圈中点端面模数 mm
 m_n ——法向模数 mm
 m_t ——端面模数 mm
 N ——转数
 N_0 ——弧齿锥齿轮刀盘的刀号计算值
 NB ——刀具径向磨损量 mm
 n_0 ——刀具的转速 r/min
 n_r ——导轮的转速 r/min
 n_s ——砂轮的转速, 主轴的转速 r/min
 P_f ——横向剖面 (车刀), $X-X$ 剖面
 P_{fe} ——工作横向剖面 (车刀)
 P_n ——切削刃法剖面
 P_{ne} ——切削刃工作法剖面
 P_o ——主剖面
 P_o' ——副切削刃的主剖面
 P_{oe} ——工作主剖面
 P_p ——纵向剖面 (车刀), $Y-Y$ 剖面
 P_{pe} ——工作纵向剖面 (车刀)
 P_r ——基面
 P_r' ——副切削刃的基面
 P_{re} ——工作基面
 P_s ——切削平面
 P_s' ——副切削刃的切削平面
 P_{se} ——工作切削平面
 P_c ——切削功率, 磨削功率 kW
 P'_c ——单位宽度磨削功率 kW/mm
 P_e ——电动机额定功率 kW
 P_m ——机床传动功率, 电动机输出功率 kW
 p ——单位切削力 kgf/mm²
 p ——齿距, 周节, 分度圆周节 mm
 p_s ——单位切削功率 kW·min/mm³
 p_z ——导程 mm
 Q ——切削热量 kcal
 Q ——在 $\bar{X} \sim x$ 尺寸范围内工件的概率
 Q ——摇台角 度
 Q_w ——金属切除总量 mm³
 Q'_w ——砂轮耐用度期间, 单位宽度金属切除总量 mm³/mm

q ——磨削速度比 v_s/v_w	v_c ——切削速度 m/min
q ——切齿机的刀位极角 度	v_s ——合成切削速度 (由 v 和 v_f 合成) m/min
q_n ——断(卷)屑台(槽)圆弧半径 mm	v_f ——进给速度 mm/min
q_s ——单位时间和剪切面积上的热量 $kcal/(mm^2 \cdot s)$	v_{fp} ——磨削时横向切入速度 mm/min
q_v ——单位时间和前面面积上的热量 $kcal/(mm^2 \cdot s)$	v_{ft} ——磨削时纵向进给速度 mm/min
R ——锥距, 样本尺寸极差 mm	v_{lim} ——临界切削速度 m/min
R_a ——表面光洁度的平均算术偏差 μ	v_o ——刀具速度 m/min
R_e ——大端锥距, 外锥距 mm	v_r ——导轮圆周速度 m/s
R_m ——中点锥距 mm	v_s ——砂轮圆周速度, 齿面间相对滑动速度 m/s
R_{max} ——表面光洁度的最大高度 μ	v_w ——工件速度 m/min
R_z ——表面光洁度的十点平均高度 μ	W ——弧齿锥齿轮刀盘的刀尖距 (双面刀盘) mm
r ——半径, 分度圆半径 mm	W ——动柔度 μ/kgf
r_n ——切削刃钝圆半径 (法向), 刃口圆弧半径 μ	W_b ——刀齿的刀顶宽 mm
r_{ne} ——实际切削刃钝圆半径 μ	W_k ——跨 k 齿测量的公法线长度 mm
r_{oj} ——弧齿锥齿轮刀盘刀尖半径 mm	W_r ——砂轮半径磨耗量, 油石磨耗量 μ
r_{om} ——弧齿锥齿轮刀盘名义半径 mm	X —— X 向座标轴
r_s ——刀尖圆弧半径 mm	$\bar{X}$ ——样本尺寸平均值 mm
r_ψ ——在切屑流出方向的切削刃钝圆半径 μ	x ——径向变位系数 (变位系数), 圆锥齿轮的高变位系数
S ——主切削刃	x ——沿 x 轴方向的座标或位移 mm
S ——刀具螺旋槽导程 mm	x_s ——切向变位系数
S' ——副切削刃	Y —— Y 向座标轴
S_e ——工作主切削刃	y ——中心距变动系数
S'_e ——工作副切削刃	y ——沿 Y 轴方向的座标或位移 mm
s ——齿厚, 分度圆齿厚, 大端端面节圆弧齿厚 mm	y_a ——齿高跑合量 μ
$\bar{s}$ ——弦齿厚, 分度圆弦齿厚 mm	y_β ——齿向跑合量 μ
$\bar{s}_c$ ——固定弦齿厚 mm	Z —— Z 向座标轴
s_n ——大端法向弦齿厚 mm	Z_r ——单位时间径向金属切除量 μ/min
T ——转矩 $kgf \cdot m$	Z_w ——金属切除率 (单位时间金属切除体积) mm^3/s
T_M ——跨棒距公差 μ	Z'_w ——单位宽度金属切除率 $mm^3/(mm \cdot s)$
T_s ——齿厚公差 μ	z ——齿数
T_w ——公法线平均长度公差 μ	z_c ——产形齿轮齿数
t ——螺距 mm	z_k ——滚刀沟槽数
t ——刀具耐用度 min	z_n ——斜齿圆柱齿轮的当量齿数
t_c ——切削时间 min	z_v ——圆锥齿轮的当量齿数
t_f ——加工每齿的进给时间 min	z_1 ——小齿轮齿数, 主动轴齿轮齿数, 蜗杆或滚刀头数
t_m ——机动时间, 加工时间 min	z_2 ——大齿轮齿数, 被动轴齿轮齿数, 蜗轮齿数
t_w ——工序工时, 加工循环时间 min	α ——压力角, 分度圆压力角, 齿形角 度
U ——切齿机的径向刀位 mm	α ——导热系数 m^2/s
U_ϕ ——单位时间剪切面上消耗的功 $kgf \cdot m/s$	α' ——啮合角, 工作压力角 度
U'_ϕ ——单位时间和剪切面积上消耗的功 $kgf/m \cdot s$	α_b ——最小后角 度
u ——齿数比 z_2/z_1	α_f ——横向后角, 径向后角 (铣刀), 麻花钻刀刃后角 度
VB ——刀具后面磨损带中部平均磨损量 mm	α_{fe} ——横向工作后角 度
VB_{max} ——刀具后面磨损带中部最大磨损量 mm	α_n ——法后角 度
VC ——刀尖处后面磨损宽度 mm	α_{ne} ——工作法后角 度
VN ——在磨损缺口处后面磨损宽度 mm	α_o ——后角 (正交后角), 刀齿齿形角 度
v ——切削速度, 线速度, 分度圆圆周速度 m/min	α'_o ——副后面后角 度
v_a ——轴向速度 m/min	α_{o1} ——后面棱边、刃带或消振棱的后角 度

46-X IV 常用符号表

α_{oe} ——工作后角 度
 α_p ——纵向后角, 轴向后角(铣刀) 度
 α_{pe} ——纵向工作后角 度
 β ——螺旋角, 刀具前面上的摩擦角 度
 β_f ——横向楔角 度
 β_{fe} ——横向工作楔角 度
 β_n ——法楔角 度
 β_{ne} ——工作法楔角 度
 β_o ——主剖面楔角 度
 β_{oe} ——工作楔角 度
 β_p ——纵向楔角 度
 γ ——导角 度
 γ_f ——横向前角, 径向前角(铣刀), 麻花钻刀刃前角 度
 γ_{fe} ——横向工作前角 度
 γ_g ——最大前角 度
 γ_n ——法前角 度
 γ_{ne} ——工作法前角 度
 γ_o ——前角(正交前角) 度
 γ_{oe} ——工作前角 度
 γ_{o1} ——倒棱角, 倒棱处的前角 度
 γ_p ——纵向前角, 轴向前角(铣刀) 度
 γ_{pe} ——纵向工作前角 度
 γ ——中径上螺纹升角 度
 Δ ——尺寸分散范围 mm
 Δ_r ——径向金属切除量 μ
 ΔW ——锥齿轮加工余量 mm
 δ ——延伸率
 δ ——切削角, 分度圆锥角(分锥角) 度
 δ ——尺寸公差 mm
 δ' ——节圆锥角(节锥角) 度
 δ_a ——齿顶圆锥角(面锥角、顶锥角) 度
 δ_f ——齿根圆锥角(根锥角) 度
 δ_j ——切齿机上工件座的安装角 度
 ε ——拉、压应变
 ε_r ——刀尖角 度
 ε_{xy} ——切应变, 相对剪切, 相对滑移
 $\dot{\varepsilon}_{xy}$ ——切应变速度 1/s
 η ——效率、滑动率、齿槽宽半角
 θ ——温度, 切削温度 $^{\circ}\text{C}$
 θ_a ——齿顶角 度
 θ_f ——齿根角 度
 κ_r ——主偏角 度
 κ'_r ——副偏角 度
 κ_{re} ——工作主偏角 度
 κ'_{re} ——工作副偏角 度
 κ_{re} ——过渡刃副角 度
 λ ——导热系数 kcal/(m·s· $^{\circ}\text{C}$)
 λ_s ——刃倾角 度
 λ'_s ——副刃倾角 度
 λ_{se} ——工作刃倾角 度
 μ ——摩擦系数
 μ_a ——刀具后面的摩擦系数
 ρ ——齿廓曲率半径, 曲率半径 mm
 ρ ——密度 kg/mm³
 σ ——拉、压应力 kgf/mm²

σ ——标准差
 σ_1 —— $\varepsilon = 1$ 时的应力 kgf/mm²
 σ_{-1} ——疲劳强度 kgf/mm²
 σ_b ——抗拉强度 kgf/mm²
 σ_{bb} ——抗弯强度 kgf/mm²
 σ_{bo} ——抗压强度 kgf/mm²
 σ_f ——进给方向的残余应力 kgf/mm²
 σ_t ——切向正应力 kgf/mm²
 σ_v ——切削速度方向的残余应力 kgf/mm²
 σ_y ——刀具前面上的正应力 kgf/mm²
 σ_ϕ ——剪切面上的正应力 kgf/mm²
 τ ——切应力 kgf/mm²
 τ ——齿距角 度
 τ_j ——直齿锥齿轮刨齿机上的刀架齿角 度
 τ_{xy} ——XY 平面内的切应力 kgf/mm²
 τ_y ——刀具前面上的切应力 kgf/mm²
 τ_ϕ ——剪切面上的切应力 kgf/mm²
 ϕ ——剪切角 度
 φ ——相位角 度
 ψ ——合力 F_r 与剪切面间夹角 度
 ψ ——交变切削力与振动位移间相位差 度
 ψ_r ——余偏角($90^{\circ} - \kappa_r$) 度
 ψ_{re} ——工作余偏角 度
 ψ_λ ——切屑流出方向角 度
 ω ——合力 F_r 与切削速度间夹角 度
 ω ——角速度, 角频率 rad/s
 Σ ——轴交角 度
 主要下角标符号(标注在主要符号的右下角)
 a ——齿顶的, 啮出的, 轴向的
 b ——基圆的, 齿宽的
 C ——节点的, 齿顶修缘的, 齿根修形的
 c ——切削的, 切屑的, 产形齿轮的
 e ——外侧的, 外部的, 当量的, 电动机的, 合成的
 f ——齿根的, 啮入的, 进给的
 g ——展成的
 H ——接触的, 水平的
 i ——内侧的, 内部的
 lim ——极限的, 临界的
 m ——中点的, 机床的, 平均的
 max ——最大的
 min ——最小的
 n ——法剖面的, 法向的, 斜齿圆柱齿轮当量的
 o ——主剖面的
 p ——切入的
 r ——径向的, 合成的, 导轮的
 rel ——相对的
 s ——砂轮的, 主轴的
 t ——端面的, 切向的, 刀具的
 v ——背锥上的, 圆锥齿轮当量的
 w ——工件的
 Σ ——代数和
 α ——刀具后面上的
 γ ——刀具前面上的
 ε ——刀尖处的
 0 ——工具上的
 1 ——小齿轮上的
 2 ——大齿轮上的

目 录

编辑说明
常用符号

第1章 机械加工工艺基础 及金属切削原理

1 各类切削方法及其经济加工精度	46-1
1.1 各类机床的工作精度	46-1
1.2 各种切削加工方法能达到的表面光洁度	46-4
1.3 各类型面的加工方案及经济精度	46-4
2 刀具的合理几何形状和参数选择	46-5
2.1 基本概念	46-5
2.2 刀具合理几何参数的选择	46-13
3 切削过程中的应力与塑性变形	46-20
3.1 切削时的三个变形区	46-20
3.2 切屑形成区的塑性变形	46-20
3.3 剪切面的应力	46-24
3.4 切屑底层及刀具前面上的应力	46-26
3.5 刀具前面的摩擦	46-29
3.6 斜角切削	46-30
4 切削力	46-34
4.1 切削分力	46-34
4.2 主切削力的理论公式	46-36
4.3 影响切削力的因素	46-36
4.4 车削切削力及切削功率的计算	46-41
5 切削热与切削温度	46-44
5.1 切削热的产生与传出	46-44
5.2 切削温度	46-44
6 刀具磨损与耐用度	46-49
6.1 刀具磨损形式	46-49
6.2 刀具磨钝标准	46-49
6.3 刀具与工件材料接触区域间的变化	46-50
6.4 刀具磨损的原因	46-51
6.5 刀具耐用度及其与切削用量的关系	46-58
6.6 切削用量选择的原则	46-60
7 切削液	46-61
7.1 切削液的作用与添加剂	46-61
7.2 切削液的分类与配方	46-67
7.3 切削液对切削过程的影响	46-71
7.4 切削液的选用	46-73
7.5 切削液的使用方法	46-74
8 已加工表层质量	46-76
8.1 表层质量的标志	46-76
8.2 表面粗糙度产生的原因	46-76
8.3 影响光洁度的因素及提高的措施	46-79
8.4 已加工表面形成过程	46-82
8.5 加工硬化及其影响因素	46-82
8.6 残余应力及其影响因素	46-84
9 提高加工精度的措施	46-86
9.1 影响几何形状精度的基本因素及提高措施	46-86
9.2 影响尺寸精度的基本因素及提高措施	46-88
9.3 影响相互位置精度的基本因素及提高措施	46-89
9.4 提高加工精度的途径	46-89
9.5 精度的统计分析和质量分析	46-90
10 切削加工过程中的振动	46-96
10.1 切削振动的类型和特征	46-96
10.2 引起受迫振动的原因及消减措施	46-96
10.3 产生自激振动的原因及消除措施	46-96
11 机械加工工艺过程的编制	46-102
11.1 工艺过程的组成	46-102
11.2 拟订工艺过程时的几个主要问题	46-103
11.3 成组加工工艺	46-106
12 加工余量	46-107
12.1 确定加工余量时应考虑的因素	46-107
12.2 各类切削方法的加工余量	46-107

12.3	毛坯的机械加工余量(总余量)···	46-110
------	-------------------	--------

第2章 车 削

1	普通车床加工·····	46-113
1.1	普通车床的类型·····	46-113
1.2	普通车床的切削用量·····	46-114
1.3	特形工件加工·····	46-116
1.4	多边形型面加工·····	46-119
1.5	双曲线矫直辊加工·····	46-122
1.6	畸形工件加工·····	46-124
1.7	细长轴加工·····	46-126
1.8	薄壁类工件加工·····	46-128
1.9	螺纹加工·····	46-130
1.10	滚压加工·····	46-137
1.11	镜面和虹面车削·····	46-139
1.12	等离子电弧加热切削·····	46-141
2	立式车床加工·····	46-143
2.1	立式车床的类型·····	46-143
2.2	立式车床的工作精度及工艺范围···	46-145
2.3	立式车床的切削用量·····	46-148
2.4	立式车床加工工件的定位、装 夹和测量·····	46-152
2.5	立式车床的加工方法·····	46-155
2.6	立式车床的刀具、辅具及附加装置···	46-172
3	卡盘多刀半自动车床加工·····	46-181
3.1	卡盘多刀半自动车床的类型·····	46-181
3.2	卡盘多刀半自动车床的切削用量···	46-182
3.3	卡盘多刀半自动车床的结构特点···	46-182
3.4	卡盘多刀半自动车床的附加装置···	46-184
3.5	卡盘多刀半自动车床的工艺编制···	46-185
4	仿形车床加工·····	46-188
4.1	仿形车床的类型·····	46-188
4.2	仿形车床的仿形车削方法·····	46-189
4.3	仿形车削工艺及样板设计·····	46-192
4.4	仿形车床调整·····	46-193
4.5	仿形车床的工作要点及产生故障 原因·····	46-198
5	六角车床加工·····	46-198
5.1	六角车床的类型·····	46-198
5.2	转塔式六角车床的结构特点·····	46-199
5.3	转塔式六角车床的附具和刀具·····	46-203

5.4	转塔式六角车床的工艺编制·····	46-208
6	单轴自动车床加工·····	46-210
6.1	单轴自动车床的类型·····	46-210
6.2	单轴自动车床的切削用量·····	46-210
6.3	单轴六角自动车床的传动系统和 主要机构特点·····	46-213
6.4	单轴六角自动车床的附具及 附加装置·····	46-215
6.5	单轴六角自动车床的工艺编制·····	46-218
7	卧式多轴自动车床加工·····	46-222
7.1	卧式多轴自动车床的类型及工艺 范围·····	46-222
7.2	卧式多轴自动车床的切削用量和 加工精度及表面光洁度·····	46-224
7.3	卧式多轴自动车床的结构特点·····	46-225
7.4	卧式多轴自动车床的附具和附加 装置·····	46-232
7.5	卧式多轴自动车床的工艺编制·····	46-243

第3章 钻削、镗削

1	普通钻床加工·····	46-248
1.1	普通钻床的类型·····	46-248
1.2	普通钻床的切削用量和加工精度及 表面光洁度·····	46-250
1.3	普通钻床的加工方法·····	46-252
1.4	普通钻床扩大工艺范围的加工·····	46-255
2	普通镗床加工·····	46-258
2.1	普通镗床的类型·····	46-258
2.2	普通镗床的定位方式·····	46-259
2.3	普通镗床的切削用量和加工精度及 表面光洁度·····	46-262
2.4	普通镗床的加工方法·····	46-263
2.5	普通镗床扩大工艺范围的加工·····	46-271
3	座标镗床加工·····	46-274
3.1	座标镗床的类型·····	46-274
3.2	座标镗床的测量系统、找正及测量 工作·····	46-275
3.3	座标镗床的切削用量和加工精度及 表面光洁度·····	46-281
3.4	座标镗床的加工方法·····	46-281
3.5	座标镗床扩大工艺范围的加工·····	46-292

3.6 影响加工孔距精度的因素及措施	46-298
4 组合机床加工	46-301
4.1 组合机床的类型	46-301
4.2 组合机床加工工艺方案的确定	46-303
4.3 组合机床的切削用量和切削力	46-304
4.4 组合机床的加工精度及表面 光洁度	46-317
4.5 组合机床的加工方法	46-317
4.6 在组合机床上加工特殊工序	46-326
5 深孔加工	46-328
5.1 深孔加工的类型	46-328
5.2 深孔加工机床的类型及工作要点	46-329
5.3 深孔加工的切削用量和加工精度及 表面光洁度	46-330
5.4 深孔加工的导向系统	46-331
5.5 深孔加工的切削液及切削液系统	46-331
5.6 深孔加工的切削液输入器	46-332
5.7 深孔加工常见问题及产生原因	46-333

第4章 铣 削

1 铣削特点及铣床的类型	46-335
2 铣削方式和铣削要素	46-339
2.1 铣削方式	46-339
2.2 铣削要素及铣削用量	46-339
3 铣削力及铣削功率	46-344
3.1 铣削分力	46-344
3.2 铣削力及功率的计算	46-344
4 铣刀的磨损极限及耐用度	46-346
4.1 铣刀后刀面的磨损极限值	46-346
4.2 铣刀的耐用度	46-346
4.3 提高铣刀耐用度的措施	46-347
5 典型零件及复杂型面的铣削	46-348
5.1 花键轴的铣削	46-348
5.2 长齿条的铣削	46-349
5.3 凸轮的铣削	46-350
5.4 曲面的铣削	46-352
5.5 等螺旋角锥铣刀刀槽的铣削	46-355
5.6 质数螺旋齿轮的铣削	46-357
5.7 空间斜面的铣削	46-358
6 高效铣刀和超精铣削	46-359
6.1 几种新结构硬质合金铣刀	46-359
6.2 超精铣削	46-363

第5章 刨削、插削

1 刨床和插床的加工特点及类型	46-366
2 刀具切削角度和刨削用量的 选择	46-366
2.1 切削角度的选择	46-366
2.2 刨削用量的选择	46-366
2.3 刨削力和切削功率的计算	46-369
3 工件的定位及装夹	46-370
3.1 定位和装夹中应注意的问题	46-370
3.2 不规则薄壁件和薄板件的装夹	46-371
4 精刨	46-372
4.1 精刨的类型	46-372
4.2 精刨的工作要点	46-373
4.3 精刨表面的波纹和产生原因	46-375
4.4 龙门刨床工作台的配刨	46-375
5 提高刨削生产率的一些方法	46-376
5.1 改进刨削方法提高切削效率	46-376
5.2 缩短辅助时间提高自动化程度	46-379
6 插削加工	46-380
6.1 刀具切削角度和刀杆结构引起“扎刀” 现象的分析	46-380
6.2 插削刀具切削角度参数和插削用量的 选择	46-381
6.3 插削常见缺陷和产生原因	46-382

第6章 拉 削

1 拉床类型、拉削方式和拉削 装置	46-383
1.1 拉床的类型	46-383
1.2 拉削方式	46-383
1.3 拉削装置	46-388
2 拉削工艺参数	46-389
2.1 切削力和功率	46-389
2.2 拉削速度	46-391
2.3 切削液	46-392
2.4 拉刀的几何参数	46-393
2.5 提高拉削加工质量和拉刀寿命的 措施	46-394
3 典型拉削加工	46-394
3.1 深孔拉削	46-394

- 3.2 大平面和复合型面的拉削46-396
- 3.3 齿轮拉削46-398
- 3.4 高速拉削46-400

第7章 磨 削

- 1 磨削特点和磨削方式46-402
 - 1.1 磨削特点46-402
 - 1.2 磨削方式46-402
- 2 磨削原理及磨削工艺参数的选择46-403
 - 2.1 磨削原理46-403
 - 2.2 砂轮修整用量和磨削用量的选择46-406
 - 2.3 切削液的选用及砂轮表面冲洗46-410
- 3 各类磨床加工46-412
 - 3.1 外圆磨床加工46-412
 - 3.2 内圆磨床加工46-416
 - 3.3 平面磨床加工46-419
 - 3.4 无心外圆磨床加工46-422
 - 3.5 双端面磨床加工46-428
 - 3.6 曲轴磨床加工46-430
 - 3.7 凸轮磨床加工46-432
 - 3.8 轧辊磨床加工46-434
 - 3.9 花键轴磨床加工46-436
 - 3.10 螺纹磨床加工46-437
 - 3.11 导轨磨床加工46-440
 - 3.12 轴承磨床加工46-445
 - 3.13 工具磨床加工46-449
 - 3.14 多面形磨床加工46-453
- 4 高效磨削46-456
 - 4.1 高速磨削46-457
 - 4.2 宽砂轮磨削46-460
 - 4.3 成形磨削46-461
 - 4.4 适应控制磨削46-462
 - 4.5 多砂轮磨削46-463
 - 4.6 缓进深切磨削46-463
 - 4.7 控制力磨削46-465
- 5 高精度、高光洁度磨削46-466
 - 5.1 高精度和高光洁度磨削的应用和特点46-466
 - 5.2 高光洁度表面的形成46-466
 - 5.3 高精度、高光洁度磨削时对机床的要求与改装46-467

- 5.4 高精度、高光洁度磨削工艺参数的选择46-468
- 5.5 高精度、高光洁度磨削砂轮的选择46-469
- 5.6 高精度、高光洁度磨削的加工实例46-470
- 6 磨具的选择46-472
 - 6.1 主要磨具的类别和用途46-472
 - 6.2 磨具选择的原则46-475
 - 6.3 砂轮的修整46-479
 - 6.4 砂轮的平衡46-480
 - 6.5 砂带46-480
- 7 金刚石和立方氮化硼磨具的选择与使用46-481
 - 7.1 金刚石和立方氮化硼磨具的选择46-482
 - 7.2 金刚石和立方氮化硼磨具磨削用量的选择46-482
 - 7.3 金刚石和立方氮化硼磨具的修整46-483
 - 7.4 金刚石和立方氮化硼磨具使用注意事项46-483
 - 7.5 金刚石研磨膏的选用46-483

第8章 珩磨、超精和研磨

- 1 珩磨46-484
 - 1.1 珩磨的加工特点和加工原理46-484
 - 1.2 珩磨机床及珩磨头46-486
 - 1.3 珩磨油石的选用及修整46-495
 - 1.4 珩磨工艺参数的选择46-499
 - 1.5 珩磨不同形状孔的工作要点及常见缺陷和产生原因46-505
- 2 超精加工46-506
 - 2.1 超精加工特点46-506
 - 2.2 超精加工的分类及应用46-507
 - 2.3 超精加工原理46-507
 - 2.4 超精加工的典型工艺46-522
 - 2.5 超精加工的工件缺陷和产生原因46-523
 - 2.6 超精加工的实例46-524
- 3 轮式超精磨46-526
 - 3.1 轮式超精磨的原理及特点46-526
 - 3.2 轮式超精磨的磨削运动及磨削区域46-526
 - 3.3 轮式超精磨的机床、装置及磨头46-527
 - 3.4 轮式超精磨的操作工艺46-528

3.5 磨轮的选用	46-530
4 研磨	46-530
4.1 研磨特点和工作原理	46-530
4.2 研磨剂、研具及运动轨迹	46-532
4.3 研磨的工艺参数和工作要点	46-538
4.4 典型工件的研磨工艺	46-540

第9章 圆柱齿轮和蜗轮副加工

1 圆柱齿轮工艺过程	46-545
1.1 圆柱齿轮齿部工艺	46-545
1.2 齿坯加工精度	46-545
1.3 圆柱齿轮热处理技术经济性能比较 及流程	46-546
1.4 圆柱齿轮测量要素	46-546
2 滚齿	46-547
2.1 滚齿机床的类型	46-547
2.2 滚齿工作原理	46-549
2.3 滚齿调整	46-549
2.4 滚齿工艺	46-557
2.5 大型齿轮滚齿	46-560
2.6 圆弧齿轮加工	46-563
2.7 滚齿机床扩大工艺范围的加工	46-566
2.8 提高滚齿效率和精度的措施	46-568
2.9 滚齿误差	46-574
3 插齿	46-577
3.1 插齿机床的类型	46-577
3.2 插齿工作原理	46-578
3.3 插齿调整	46-578
3.4 插齿工艺	46-584
3.5 插齿误差	46-585
3.6 插齿机床扩大工艺范围的加工	46-587
4 剃齿	46-588
4.1 剃齿机床的类型	46-588
4.2 剃齿工作原理	46-588
4.3 切削用量选用	46-591
4.4 保证剃齿精度的工作要点	46-591
4.5 剃齿调整	46-592
4.6 剃齿常见缺陷	46-594
5 珩齿	46-598
5.1 珩齿工作原理	46-598
5.2 珩齿切削用量和余量	46-599
5.3 珩轮选用	46-599

5.4 工件珩前精度	46-599
5.5 精整珩齿	46-600
6 磨齿	46-601
6.1 磨齿机床的类型	46-601
6.2 磨齿工作原理	46-602
6.3 磨齿调整	46-603
6.4 磨齿工艺	46-609
6.5 磨齿误差	46-611
6.6 提高磨齿精度和效率的措施	46-611
6.7 磨齿机床扩大工艺范围的加工	46-614
7 蜗轮副加工	46-617
7.1 蜗轮加工特点和工艺	46-617
7.2 精密蜗轮加工	46-617
7.3 蜗杆加工	46-629
7.4 蜗轮副的接触精度	46-630
7.5 滚齿机运动精度的测量与蜗轮副的 测量要素	46-631
7.6 其他蜗轮副加工	46-632

第10章 锥齿轮加工

1 锥齿轮加工的运动特性和工艺 要素	46-635
1.1 齿面的成形方法	46-635
1.2 齿面滚切成形的基本要素	46-635
1.3 滚切成形的主要工作部件	46-637
1.4 滚切成形的工艺参数	46-638
1.5 切齿机的运动及其调整环节	46-638
1.6 齿部加工的技术要求	46-638
2 直齿锥齿轮的加工方法	46-641
2.1 双刀滚切刨齿法	46-641
2.2 滚切铣齿和磨齿	46-645
2.3 成形法	46-646
2.4 圆拉包络法	46-648
3 弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮的 加工原理	46-648
3.1 齿沟两侧的切削方法	46-648
3.2 滚切成形工艺参数	46-650
3.3 切齿加工的基本数据	46-653
3.4 收缩齿弧齿锥齿切齿计算原理	46-653
3.5 弧齿准双曲面齿轮的切齿工艺 特点	46-657

4 收缩齿弧齿锥齿轮和准双曲面齿轮的加工方法	46-658
4.1 不用刀倾机构的滚切法	46-658
4.2 使用刀倾机构的滚切法	46-658
4.3 半滚切法	46-661
5 延伸摆线齿锥齿轮的加工方法	46-664
5.1 切齿工艺特点	46-664
5.2 “奥利孔”制的切齿方法特点	46-665
5.3 “克林根”制的切齿方法特点	46-666
6 质量的检验和改进	46-667
6.1 检验和改进加工质量的一般方法	46-667
6.2 接触区检验	46-669
6.3 V-H检验法	46-670
7 螺旋锥齿轮的研齿和磨齿	46-671
7.1 研齿和磨齿的技术特性	46-671
7.2 研齿的基本过程	46-672
7.3 中部研齿和全齿面研齿	46-673
7.4 研齿的其他工艺要素	46-673
7.5 磨齿的工作原理	46-674
7.6 磨齿的适用范围	46-674
7.7 磨齿的工艺特点	46-674
8 接触区缺陷的修正	46-675
8.1 接触区修正方法的说明	46-675
8.2 接触区位置修正(一阶修正)	46-676
8.3 接触区长短、宽窄和对角接触修正 (二阶修正)	46-676
8.4 接触区形状修正(三阶修正)	46-680
8.5 齿顶或齿根硬印接触的修正	46-682
9 工艺和设备资料	46-682
9.1 典型工艺过程	46-682
9.2 切削用量和加工余量	46-684
9.3 常用锥齿轮加工和检验机床的规格和性能	46-686
9.4 齿坯心轴的典型结构	46-688
9.5 常用切齿机调整换算公式和常数	46-689

第11章 难切材料的切削加工

1 难切材料的切削特点	46-690
1.1 影响切削加工性的主要因素	46-690
1.2 切削特点	46-692
1.3 难切材料的切削加工性	46-692

2 工具材料的选用	46-693
2.1 高速钢的选用	46-693
2.2 硬质合金的选用	46-695
3 高锰钢和高强度钢的切削加工	46-697
3.1 高锰钢切削	46-697
3.2 高强度钢切削	46-698
4 不锈钢的切削加工	46-699
4.1 不锈钢车削	46-699
4.2 不锈钢铣削	46-700
4.3 不锈钢钻削	46-701
4.4 不锈钢铰削	46-702
4.5 不锈钢攻丝	46-702
4.6 不锈钢磨削	46-704
5 高温合金的切削加工	46-704
5.1 高温合金车削	46-704
5.2 高温合金铣削	46-705
5.3 高温合金钻削	46-705
5.4 高温合金铰削	46-706
5.5 高温合金攻丝	46-706
5.6 高温合金拉削	46-707
5.7 高温合金磨削	46-708
6 钛合金的切削加工	46-708
6.1 钛合金车削	46-709
6.2 钛合金铣削	46-710
6.3 钛合金钻削	46-710
6.4 钛合金铰削	46-711
6.5 钛合金攻丝	46-712
6.6 钛合金拉削	46-712
6.7 钛合金磨削	46-713

第12章 “蚂蚁啃骨头” 和简易加工

1 “蚂蚁啃骨头”——拼组加工	46-714
1.1 确定加工和拼组方案时应注意的问题	46-714
1.2 工艺装备的选用	46-717
1.3 定位、装夹和测量	46-718
1.4 平面加工	46-722
1.5 外圆和内孔加工	46-726
1.6 球面和旋转曲面加工	46-729
1.7 齿轮加工	46-732

第1章 机械加工工艺基础及金属切削原理

金属切削按其所用切削工具的类型可分为两大类：一类是用刀具进行的切削加工、如车削、钻削、镗削、铣削、刨削和拉削等；另一类是用磨料进行的磨削加工、如磨削、珩磨、超精加工和研磨等。

为了能经济地、高效地获得各类零件所需的加工精度，在确定零件加工工艺时应注意：

- 1) 合理选择毛坯类型和加工余量；
- 2) 正确地制订加工方案和工艺路线；
- 3) 尽量选用自动、半自动的多轴、多刀或多工位等之类高效机床以及先进的附加装置；
- 4) 正确地选择刀具结构、几何参数、刀片材料和切削用量等；

5) 采用先进的夹具、附具和量具，如拼拆夹具、组合夹具、机动夹具、机外对刀装置和主动测量装置等；

6) 应用成组工艺技术，组织中小批量工件的加工，使之也能广泛采用先进的工艺、机床和装备；

7) 规定工件在工序间的安放和运输方法及工具，以保证加工质量的稳定。

1 各类切削方法及其经济加工精度

1.1 各类机床的工作精度

表46.1-1 各类机床的工作精度〔3〕

切削方法	主要机床类型		主参数范围 mm	机床工作精度		
				尺寸精度级	几何形状精度 mm	相互位置精度 mm/mm
车削	普通车床	普通级	最大加工直径 $D = 250 \sim 1250$	2~3	椭圆度 $0.0005\sqrt{D}$	
		精密级	$D = 250 \sim 500$	1~2	椭圆度 0.005	
		高精度级	$D = 250 \sim 400$	1	椭圆度 0.001	
	重型普通车床		$D = 1600 \sim 3150$	2~3	椭圆度 $\frac{D}{80000}$	
	落地车床		$D = 1600 \sim 8000$	2~3	端面不平度 $0.0014\sqrt{D}$	
	立式车床		$D = 800 \sim 20000$	2~3	椭圆度 $0.0004\sqrt{D}$	
	六角车床		最大棒料直径 $d = 10 \sim 125$	直径不同一度 $0.012^3\sqrt{d} \text{ mm}$	椭圆度 $0.002\sqrt{d}$	
	多刀半自动车床		$D = 250 \sim 400$	3	椭圆度 $0.0009\sqrt{D}$	
	半自动仿形车床		$D = 125 \sim 200$	仿形误差 0.05mm	椭圆度 0.015	
	单轴纵切自动车床	普通级	$d = 4 \sim 20$	2	椭圆度 0.005	
		精密级		1	椭圆度 0.003	
	单轴六角自动车床		$d = 12 \sim 36$	直径不同一度 $d \leq 20 \quad 0.03$ $d > 20 \quad 0.04$	椭圆度 0.01	
	卧式多轴自动车床		$d = 25 \sim 80$	直径不同一度 $0.0014\sqrt{d}$	椭圆度 $0.002\sqrt{d}$	

(续)

切削方法	主要机床类型		主参数范围 mm	机床工作精度		
				尺寸精度级	几何形状精度 mm	相互位置精度 mm/mm
钻削	台式钻床		最大钻孔直径 $d \leq 16$	钻孔 6~7		钻孔的偏斜度用 划线法时 0.3/100 用钻模时 0.1/100
	立式钻床		$d = 18 \sim 75$			
	摇臂钻床		$d = 25 \sim 125$			
镗削	卧式镗床		主轴直径 $D = 70 \sim 130$	镗孔 2~3 用浮动镗刀块镗孔 1~2	椭圆度 $0.002\sqrt{D}$	孔加工不平行度 及孔与端面加工不 垂直度 0.03/300
	落地镗床		$D = 160 \sim 200$			
	落地镗铣床		$D = 130 \sim 260$			
	坐标镗床	单柱	工作台宽度 $B = 200 \sim 630$	孔距精度 $B \leq 1000\text{mm}$ Ⅰ级精度机床 $0.004 \sim 0.007\text{mm}$ Ⅱ级精度机床 $0.006 \sim 0.012\text{mm}$	椭圆度 Ⅰ级精度机床 $0.00015\sqrt{B}$ Ⅱ级精度机床 0.002 $+0.00015\sqrt{B}$	
		双柱	$B = 630 \sim 2000$			
	金刚镗床		$B = 250 \sim 630$	1~2	椭圆度 ≤ 0.005	
铣削	升降台式立卧铣床		$B = 200 \sim 500$	3~4	不平直度 $0.02\text{mm}/150\text{mm}$	加工面与基面不 平行度 0.02/150
	工作台不升降式立卧铣床		$B = 400 \sim 1000$	3~4	不平直度 $0.02\text{mm}/300\text{mm}$	加工面与基面不 平行度 0.02/300
	单柱铣床		$B = 320 \sim 600$	3~4	不平直度 $0.02\text{mm}/1000\text{mm}$	加工面与基面不 平行度 0.02/1000
	龙门铣床		$B = 800 \sim 5000$			
	龙门架移动铣床		$B = 12000$			
	仿形铣床		$B = 250 \sim 500$	仿形误差 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$		
刨削	牛头刨床		最大行程 $L = 160 \sim 900$	3~4	上加工面不平度 $0.0009\sqrt{L}$ 侧加工面不平度 $0.0013\sqrt{L}$	加工面与基面不 平行度 $0.0013\sqrt{L}\text{mm}$
	单柱刨床		最大刨削宽度 $B = 1000 \sim 1500$	3~4	$0.02\text{mm}/100\text{mm}$	0.02/100
	龙门刨床		$B = 1000 \sim 3000$			
插削	插床		最大插削长度 $L = 200 \sim 1200$	3~4	不平直度 $0.03\text{mm}/300\text{mm}$	加工面与基面不 垂直度 0.03/300
拉削	卧式内拉床		最大拉力 $F = 10 \sim 100\text{tf}$	2~4		孔对基面不垂直度 0.08/200
	立式内拉床		$F = 5 \sim 20\text{tf}$	2~4		孔对基面不垂直度 0.06/200
	立式外拉床		$F = 10 \sim 20\text{tf}$	2~4		拉削面对基面不 垂直度 0.04/300