

▶ 典型工件加工系列丛书

典型工件铣削

DIANXING GONGJIAN XIXUE

宋力春 编

十大类典型工件

六十个铣削实例

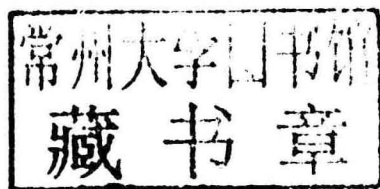


机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

典型工件加工系列丛书

典型工件铣削

宋力春 编



机械工业出版社

本书以图文并茂的形式,介绍了典型工件的铣削加工工艺性、铣削条件的准备、铣削加工步骤和铣削过程中应注意的问题。其中包括型面工件、槽类工件、凸轮类工件、离合器、齿轮和齿条、常用刀具体、花键、球面、薄壁工件和难切削材料工件共 10 大类典型工件的铣削加工。

本书通过典型工件的铣削实例,重点介绍了铣削工艺过程的特点,除供从事铣削加工工作的技术工人学习参考外,还可供机械加工工艺技术人员和职业院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

典型工件铣削/宋力春编. —北京:机械工业出版社, 2012. 10
(典型工件加工系列丛书)

ISBN 978-7-111-39963-6

I. ①典… II. ①宋… III. ①铣削 IV. ①TG54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 238527 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王英杰 赵磊磊 责任编辑:赵磊磊

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:鞠 杨 责任印制:张 楠

北京四季青印刷厂印刷

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 7.125 印张 · 188 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-39963-6

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的飞速发展与进步，机械制造业中的铣削加工广泛地应用于产品零件的加工过程中。编者结合自己多年的企业生产和教学实践经验，在查阅大量铣削加工相关资料的基础上编写了此书。在编写中，力求使书中的内容简明扼要，通俗易懂。

铣削加工中的主要问题有：根据工件材料的性能和工件结构与加工精度合理选择切削刀具；合理选择刀具角度；铣床与夹具的选择与调整；合理选择铣削用量与切削液；根据工件结构和加工精度与表面质量合理选择铣削步骤；铣削过程中缺陷产生的原因与预防措施等。要想铣削加工好每一个工件，就必须对上述问题予以重视。

本书是以典型工件的铣削为核心，对每一个特定工件的材料、结构、加工精度和表面质量进行分析后，介绍了铣削条件的准备、铣削步骤和铣削中应注意的问题。本书分别介绍了型面工件、槽类工件、凸轮类工件、离合器、齿轮和齿条、常用刀具体、花键、球面、薄壁工件和难切削材料工件的铣削加工。由于实践范围所限，所列举的工件不一定全面，但铣削的原理和规律基本相同，供读者借鉴。

本书在编写过程中，得到了北京联合大学咎华老师的大力支持，同时参考了其他作者所编写的相关资料与书籍，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者的水平和实践范围所限，书中难免有错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 型面工件的铣削	1
一、45 钢台阶、斜面复合工件的铣削	1
二、45 钢成形面的铣削	6
三、铸铁椭圆孔的铣削	12
四、45 钢较长内椭圆面的铣削	16
五、40Cr 不等边五边形角度面铣削	18
六、45 钢平面螺旋面的铣削	23
第二章 槽类工件的铣削	27
一、45 钢高精度 V 形槽的铣削	27
二、45 钢 T 形槽的铣削	31
三、铸铁燕尾槽的铣削	35
四、45 钢对称双键槽轴的铣削	39
五、铸铁双凹凸槽工件的铣削	41
六、45 钢轴上螺旋油槽的铣削	45
第三章 凸轮类工件的铣削	50
一、45 钢圆柱螺旋槽凸轮的铣削	50
二、45 钢等速圆盘凸轮的铣削	56
三、45 钢等速圆柱凸轮的铣削	60
四、45 钢阿基米德曲线凸轮的铣削	64
第四章 离合器的铣削	71
一、45 钢锯齿形离合器的铣削	71
二、45 钢高精度尖齿牙嵌离合器的铣削	73
三、45 钢等高梯形齿离合器的铣削	77
四、45 钢奇数齿矩形离合器的铣削	80
五、40Cr 偶数齿矩形离合器的铣削	83
六、45 钢收缩梯形齿离合器的铣削	87

第五章 齿轮和齿条的铣削	91
一、45 钢直齿锥齿轮的铣削	91
二、钛合金连轴直齿锥齿轮的铣削	95
三、40Cr 直齿齿条的铣削	99
四、铸铁斜齿齿条的铣削	101
五、45 钢直齿圆柱齿轮的铣削	104
六、40Cr 斜齿圆柱齿轮的铣削	108
七、45 钢链轮的铣削	111
八、40Cr 大质数直齿锥齿轮的铣削	115
第六章 常用刀具体的铣削	118
一、高速钢圆柱螺旋齿槽刀具的铣削	118
二、高速钢等螺旋角圆锥铣刀锥面螺旋齿槽的铣削	122
三、高速钢锥面直齿铣刀的铣削	126
四、直齿刀具端面开齿的铣削	128
五、错齿三面刃铣刀齿槽的铣削	130
六、高速钢单角铣刀锥面齿槽的铣削	139
七、高速钢麻花钻的铣削	143
八、高速钢铰刀开齿的铣削	145
第七章 花键的铣削	149
一、45 钢花键轴的铣削	149
二、单刀加工 45 钢大径定心外花键	152
三、单刀加工 40Cr 小径定心外花键	156
第八章 球面的铣削	163
一、45 钢单柄球面的铣削	163
二、45 钢双柄球面的铣削	165
三、整球的铣削	167
四、内球面的铣削	169
五、大半径外球面的铣削	172
六、球面综合件的铣削	173
第九章 薄壁工件的铣削	178
一、薄壁工件铣削基本知识	178
二、薄壁箱体工件的铣削	181

三、薄板形工件、薄壁筒形和槽形工件的铣削	184
四、铝合金薄形圆弧面工件的铣削	187
五、纯铜散热器槽的铣削	191
第十章 难切削材料工件的铣削	194
一、淬火钢模具外形表面的铣削	194
二、不锈钢蜗轮转子叶根槽的铣削	196
三、钛合金板上单孔加工	202
四、变形高温合金平面的铣削	205
五、冷硬铸铁工件的铣削	210
六、橡胶工件的铣削	212
七、镍和镍合金工件的铣削	215
八、复合材料工件的铣削	216
参考文献	220

第一章 型面工件的铣削

一、45 钢台阶、斜面复合工件的铣削

台阶、斜面复合工件的加工是指在六面体工件的基础上加工台阶和斜面。加工此类工件时要求铣工技术全面和熟练，掌握铣床的调整、工件的安装与定位、刀具的安装与选择和合理切削参数的选用、辅具和夹具的使用、切削液的使用等知识和技能。

台阶、斜面复合工件图如图 1-1 所示，材料为 45 钢，它的硬度不大于 229HBW、抗拉强度 $R_m \geq 600\text{MPa}$ 、伸长率 $\delta \geq 16\%$ 、

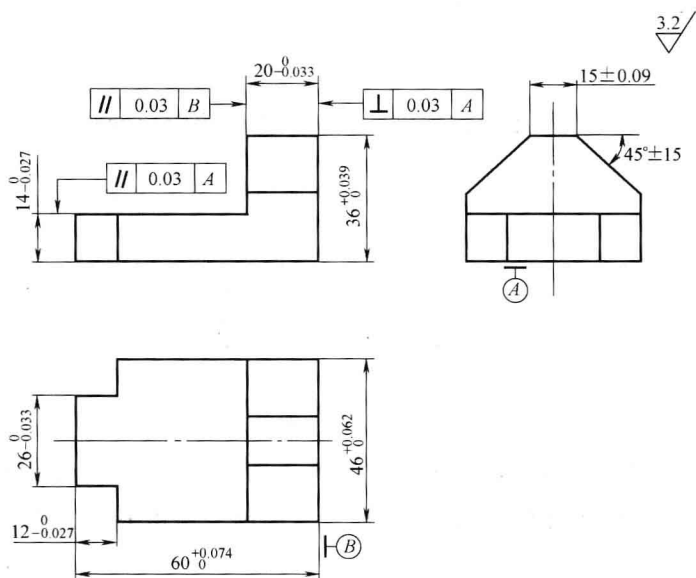


图 1-1 台阶、斜面复合工件图

冲击韧度 $\alpha_K \geq 39 \text{ J/cm}^2$ 、热导率 $K = 50.2 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ，是最常用的优质碳素结构钢，综合力学性能良好，切削性能等级为 4 级，切削加工性较好。台阶、斜面复合工件的加工精度，主要是形位公差和尺寸公差的精度，所以在铣削时必须保证。

1. 铣削加工步骤

(1) 六面体的加工 首先加工 $60^{+0.074}_0 \text{ mm} \times 46^{+0.062}_0 \text{ mm} \times 36^{+0.039}_0 \text{ mm}$ ，检查机用平口虎钳是否与机床的工作台垂直和平行，这一点十分重要，否则会影响工件的加工质量。六面体的加工步骤如下：

1) 以工件大面为基准，先加工 A 面，如图 1-2 所示。

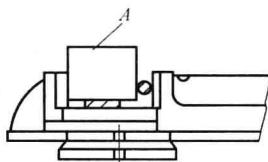


图 1-2 A 面的加工

2) 将 A 面靠紧固定钳口，采用一面一线定位的装夹方式加工 A 面的垂直面 B，如图 1-3 所示。

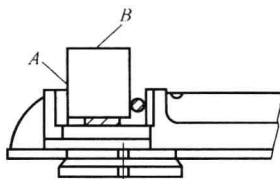


图 1-3 B 面的加工

3) 将 A 面靠紧固定钳口，采用一面一线定位的装夹方式加工 B 面的平行面 C，如图 1-4 所示。用锤子锤击 C 面，保证 B 面与 C 面平行。

4) 装夹 B 面与 C 面，加工 D 面保证与 A 面平行，如图 1-5 所示。用锤子锤击 D 面，保证 D 面与 A 面平行。

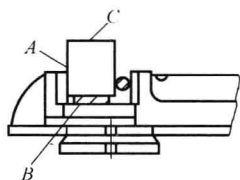


图 1-4 C 面的加工

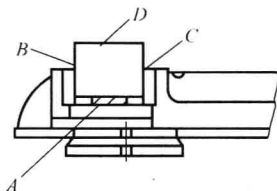


图 1-5 D 面的加工

5) 用宽座直角尺找正 B 面, 使将加工的 E 面与 A 、 B 、 C 、 D 面垂直, 如图 1-6 所示。

6) 加工 F 面, 保证 F 面与 E 面平行, 如图 1-7 所示。用锤子锤击 F 面, 保障 F 面与 E 面平行。

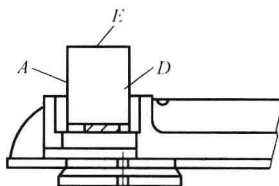


图 1-6 E 面的加工

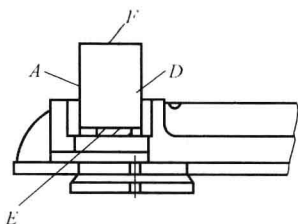


图 1-7 F 面的加工

(2) 台阶、斜面工件加工

1) 加工准备。

① 目测检验铣刀的刃磨质量。

② 选用精度较高的刀杆安装套式面铣刀, 目测铣刀的径向圆跳动和端面圆跳动误差是否超标。

2) 工件表面划线。在 B 面划出凸台加工位置线。在 D 面划出台阶加工位置线。在凸台对应端面划出斜面加工位置线, 为了控制 $15\text{mm} \pm 0.09\text{mm}$ 的加工尺寸, 在顶面准确划出斜面与顶面的连接位置平行线, 并准确打上样冲眼。

3) 台阶、斜面铣削加工。

① 粗、精铣凸台 (见图 1-8a)。

a. 换装立铣刀, 注意各接合面的清洁和配合精度。铣刀安装后应检测铣刀的圆跳动误差。

b. 工件以 E 面与 B 面定位装夹, 注意用百分表复核顶面与工作台面的平行度, 以及 B 面与 C 面的平行度。

c. 按铣削凸台的步骤操作, 铣削时注意以下几点: 在试铣和粗铣中应检查铣刀的端面刃和圆周刃的锋利程度, 以及表面粗糙度的情况; 采用纵向铣削凸台的两侧台阶, 因铣削方向不一致, 应注意检查与 E 面的平行度; 检查凸台两台阶面与 F 面的深度是否一致。

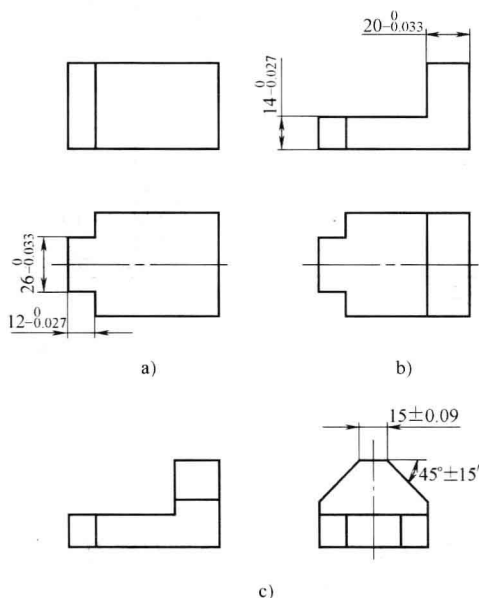


图 1-8 粗、精铣凸台

凸台的两侧面由立铣刀的圆周刃铣成, 由于铣刀的圆跳动和偏让, 应注意检测侧面的平行度, 因侧面高度尺寸比较小, 因此可用百分表测量。而沿 36mm 方向具有一定长度, 可注意测量长度两端的尺寸, 若较长的侧面能达到要求, 铣除台阶部

分后, 凸台面积缩小, 尺寸精度必然合格。

② 粗、精铣台阶 (见图 1-8b)。

a. 工件以 *C* 面和 *B* 面为基准装夹, 注意用百分表检测台阶端面基准与横向的平行度误差。选择精度较高的平行垫块将工件垫高, 因夹紧高度比较小, 平行垫块应使台阶底面略高于钳口 1mm。

b. 手动进给铣除大部分余量。

c. 精铣前重新装夹工件, 注意清除切屑和粗铣的毛刺。

d. 半精铣时注意立铣刀底面的接刀痕对底面平面度的影响。检测时可用百分表测头在平面上移动, 观察示值变动量, 检测接刀痕对平面度的影响程度。

e. 台阶 *C* 面与 *B* 面的平行度用千分尺测量, 测量点可尽量拉开, 以测得最大误差。

③ 粗、精铣斜面 (见图 1-8c)。

铣削斜面分为三种情况:

a. 刀具倾斜, 包括使用角度铣刀、倾斜机床立铣头等。

b. 工件倾斜, 包括 V 形块装夹工件、角度台虎钳装夹工件、台虎钳倾斜装夹工件等。

c. 刀具行切法加工, 此加工方法一般在数控机床上使用。

下面采用刀具倾斜的方法加工:

a. 将机用平口钳在水平面内回转 90°, 找正钳口与横向平行。

b. 调整机床立铣头, 准确转过 45° 倾斜角。

c. 工件以 *C* 面和 *B* 面为基准装夹, 用立铣刀端面刃粗铣斜面, 铣削时应使铣削力向下, 以免工件被拉起。

d. 用游标万能角度尺预检斜面夹角精度。

e. 用立铣刀的圆周刃精铣斜面, 用换面法铣削, 以使斜面获得较高的位置精度。也可以工件一次准确装夹, 一侧使用立铣刀的端面刃铣削, 另一侧采用立铣刀的圆周刃铣削。

f. 顶面的连接位置尺寸比较难测量, 可借助比较精确的划

线和样冲眼予以保证。

2. 卸下工件检验加工质量

二、45 钢成形面的铣削

在机械零件中，有许多零件的内表面或外形轮廓线是由曲线、圆弧和直线构成的。当这些成形面的母线是直线时，被称之为直线成形面。

成形面工件（扇形板）如图 1-9 所示，材料为 45 钢，它的硬度不大于 229HBW、抗拉强度 $R_m \geq 600\text{MPa}$ 、伸长率 $\delta \geq 16\%$ 、冲击韧度 $\alpha_k \geq 39\text{J/cm}^2$ 、热导率 $K = 50.2\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，是最常用的优质碳素结构钢，综合力学性能良好，切削性能等级为 4 级，切削加工性较好。成形面工件的加工精度，主要是形位公差和尺寸公差的精度，所以在铣削时必须保证。

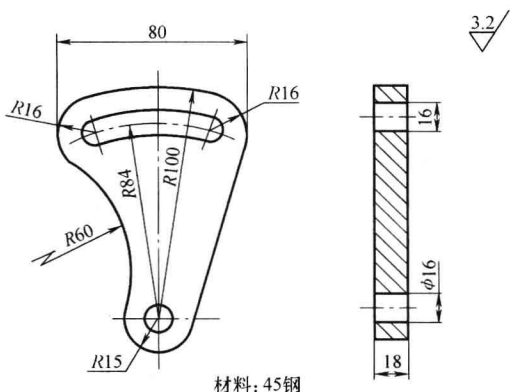


图 1-9 扇形板

1. 用回转工作台加工盘状直线成形面

(1) 分析图样 按端面形状，成形面包括 $R = 16\text{mm}$ 、 $R = 100\text{mm}$ 、 $R = 15\text{mm}$ 的凸圆弧； $R = 60\text{mm}$ 的凹圆弧；中心圆弧 $R = 84\text{mm}$ ；宽度为 16mm 的弧形键槽（中心夹角约为 32° ）以及与外圆弧相切的直线等部分。工件的素线比较短，属于盘状直

线成形面零件。板状矩形零件,宜采用专用心轴定位,用压板螺栓夹紧工件。

(2) 拟订加工工艺与工艺准备

1) 拟订扇形板加工工序过程。根据加工要求和工件外形,拟定在立式铣床上采用回转工作台装夹工件,用立铣刀和键槽铣刀铣削加工。铣削加工工序过程如下:坯件检验→安装回转工作台和压板、螺栓→制作心轴和垫块→工件表面划线→安装工件→安装立铣刀铣削 $R=60\text{mm}$ 的凹圆弧→铣削直线部分→铣削 $R=100\text{mm}$ 的凸圆弧→铣削宽度为 16mm 、 $R=84\text{mm}$ 的圆弧槽→铣削 $R=15\text{mm}$ 的凸圆弧→铣削 $R=16\text{mm}$ 的 2 个凸圆弧→检验扇形板。

2) 选择铣床。为操作方便,选用 X5032 型铣床或类似的立式铣床。

3) 选择工件装夹方式。选择 T12320 型回转工作台,工件下面衬垫平行垫块,用专用阶梯心轴定位,以划线为参照,找正工件,用压板螺栓夹紧工件。工件装夹定位如图 1-10 所示。

4) 选择刀具及安装方式。

① 铣削宽度为 16mm 的圆弧键槽时,选用直径为 16mm 的锥柄键槽铣刀。

② 铣削凹、凸圆弧时选用直径为 16mm 的粗齿锥柄立铣刀。

③ 用过渡套(变径套)和拉紧螺杆安装立铣刀和键槽铣刀,以便于观察、操作。

5) 选择检验测量方法。圆弧采用样板和游标卡尺配合检验测量;键槽宽度采用塞规或内径千分尺测量;圆弧槽的中心角采用百分表、塞规和回转工作台配合检测;连接质量和表面粗

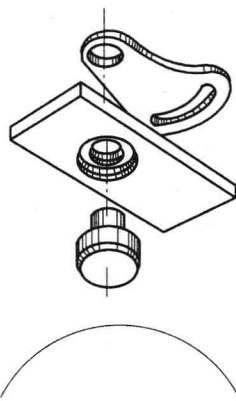


图 1-10 工件装夹定位示意图

糙度用目测比较检测。

2. 扇形板加工

(1) 加工准备

1) 预加工件检验。

① 用游标卡尺检验预加工件 $130\text{mm} \times 90\text{mm} \times 18\text{mm}$ 各项尺寸。

② 检验基准孔的尺寸精度和位置精度，孔的中心位置应保证各部位均有铣削余量，即应对称 90mm 两侧面，与工件一端尺寸大于 100mm ，与另一端尺寸大于 $R15\text{mm}$ 。

③ 检验基准平面与基准孔轴线的垂直度，检验两平面的平行度，误差均应在 0.05mm 之内。

2) 制作垫块和定位心轴。垫块和定位心轴的形式如图 1-10 所示。垫块上有定位穿孔，穿孔的直径与工件基准孔直径相同，以准备穿装心轴。垫块上有旋装压板螺杆用的螺纹孔 $M14 \times 2$ ，垫块自身用螺栓压板压紧在回转工作台上，其位置按加工部位确定。阶梯心轴的大外圆柱直径与回转工作台的主轴定位孔配合，小外圆柱直径与工件基准孔直径配合，以使工件基准孔与回转工作台回转中心同轴。

3) 安装回转工作台。按规范把回转工作台安装在工作台面上。并用百分表找正铣床主轴与回转工作台回转中心同轴，在工作台刻度盘上作记号，以作为调整铣刀铣削位置的依据。

4) 工件表面划线和连接位置的测定。

① 在工件表面涂色，以专用心轴定位，把工件放置在回转工作台台面的平垫块上，利用心轴端部的中心孔，用划规划出 $R15\text{mm}$ 、 $R84\text{mm}$ 、 $R100\text{mm}$ 圆弧线及圆弧槽两侧的圆弧线。

② 用专用心轴将工件安装在划线分度头上，如图 1-11 所示，用游标高度划线尺划出基准孔中心线，并按计算尺寸 $(80 - 16 - 16) \text{mm} / 2 = 24\text{mm}$ 调整高度尺，划出与中心线对称平行、间距为 48mm 的平行线，与圆弧槽的圆弧中心线相交，获得圆弧槽两端的中心位置，打上样冲眼，并以此为圆心，用划

规划出圆弧槽两端圆弧和 $R16\text{mm}$ 两凸圆弧。

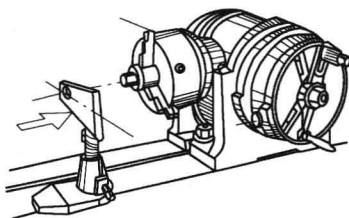


图 1-11 工件划线示意图

③ 在工件 $R60\text{mm}$ 凹圆弧中心位置处放置一块与工件等高的平行垫块，用划规按圆弧相切的方法划出凹圆弧中心，然后划出与 $R16\text{mm}$ 、 $R15\text{mm}$ 相切的 $R60\text{mm}$ 圆弧。

④ 用直尺划出与 $R16\text{mm}$ 和 $R15\text{mm}$ 圆弧相切的直线部分。

⑤ 用直尺连接圆弧中心，分别得出切点位置 1、2、3、4。用直角尺划出通过 $R16\text{mm}$ 、 $R15\text{mm}$ 圆心，与直线部分的垂线，获得直线部分与两圆弧的切点 5、6，如图 1-12 所示。

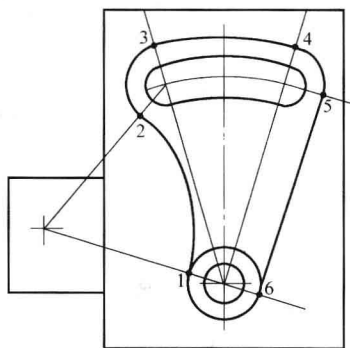


图 1-12 工件划线示意图

⑥ 在划线轮廓上打样冲眼，注意在各连接切点位置打上样冲眼。

(2) 扇形板铣削加工

1) 粗铣外形。把工件装夹在工作台面上, 下面衬垫块, 用压板压紧, 按划线手动进给粗铣外形, 注意留有 5mm 左右精铣余量。

2) 铣削 $R60\text{mm}$ 凹圆弧 (见图 1-13a)。把工件装夹在回转工作台上, 垫上垫块, 按划线找正 $R60\text{mm}$ 圆弧。找正时可先把找正用的针尖位置调整至距回转中心 60mm 处, 然后移动工件, 使工件上划线与回转工作台 $R60\text{mm}$ 圆弧重合, 如图 1-14 所示, 采用直径为 16mm 的立铣刀, 铣刀中心应偏离回转台中心 52mm, 然后铣削凹圆弧。

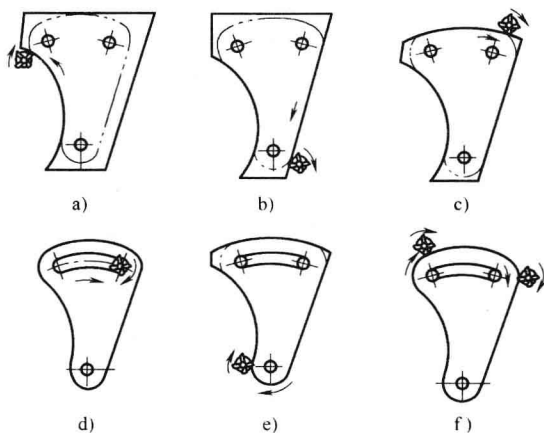


图 1-13 扇形板铣削步骤

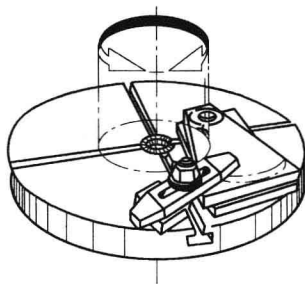


图 1-14 找正工件凹圆弧铣削位置