

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校机电工程类规划教材

组合机床设计

于英华 编著

清华大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
普通高等院校机电工程类规划教材

组合机床设计

于英华 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书共分为五章:第1章,组合机床及其自动线概述;第2章,组合机床的通用部件及其选择;第3章,组合机床总体设计;第4章,组合机床多轴箱设计;第5章,以一个组合机床设计的典型完整实例来使问题连线,以便加深学生对前部分内容的理解、融会贯通。此外,本书还将组合机床设计中必备的“组合机床通用部件参数及联系尺寸”的相关资料性内容编纂于附录中,以便学生学习和设计时查阅。各章后还附有习题,供学生复习巩固使用。

本书可作为高等学校机械工程及其自动化专业的教材,也可供相关专业的教师和学生以及工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

组合机床设计/于英华编著.--北京:清华大学出版社,2012.9

(普通高等院校机电工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-29790-1

I. ①组… II. ①于… III. ①组合机床—设计—高等学校—教材 IV. ①TG650.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 189675 号

责任编辑:庄红权 赵从棉

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:785mm×260mm

印 张:13.75

字 数:327 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00 元

产品编号:049126-01

前 言

组合机床自诞生之日起,就以其特有的快速多变的重组性、灵活多样的可调性,在机械制造业中发挥着重要的作用,特别是组合机床在车辆、仪表、大型机械制造及军工等部门得到了广泛的应用。为此,掌握组合机床设计的理论和方法具有重要的理论和现实意义。

作者参考已有的组合机床设计的相关资料,并结合自己多年的教学经验编写成此书。其主要内容共分五章。第1章介绍了组合机床及其自动线的特点,组合机床的组成、分类和基本配置型式,组合机床及其自动线技术的新发展;第2章介绍了组合机床通用部件的类型、标准及其选择;第3章介绍了组合机床总体设计的步骤、方法、原理及其注意事项;第4章介绍了组合机床多轴箱设计;第5章以一个组合机床设计的典型完整实例来使问题连线,以便学生对前部分内容的理解、融会贯通。为便于学生复习总结,每章之后配有复习思考题,以便通过演练习题加深对各章节内容的理解。

另外本书还将组合机床设计中必备的“组合机床通用部件参数及联系尺寸”的相关资料性内容编纂于附录中,以便学生学习和设计时查阅。

本书可作为高等学校机械工程及自动化及相关专业的教材,也可供其他有关学校的教师和学生及从事相关专业的工程技术人员参考。

本书在编写过程中参考了许多专家和同行的有关文献。另外,沈阳航空航天大学的赵树国教授对全书内容进行了认真的编审。在此,谨向他们表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,诚恳希望广大读者批评指正。

编 者
2012年4月

目 录

第 1 章 组合机床及其自动线概述	1
1.1 组合机床及其特点	1
1.1.1 组合机床的产生背景	1
1.1.2 组合机床的概念及其特点	1
1.2 组合机床及其自动线的组成、分类和基本配置型式	2
1.2.1 组合机床的组成	2
1.2.2 组合机床的分类	4
1.2.3 组合机床的配置型式	4
1.2.4 组合机床自动线的组成、分类和连接方式	8
1.3 组合机床及其自动线技术的新发展	12
1.3.1 提高组合机床的加工精度	12
1.3.2 提高组合机床及其自动线的柔性化程度	12
复习思考题	14
第 2 章 组合机床的通用部件及其选择	15
2.1 通用部件的类型及其标准	15
2.1.1 通用部件的分类	15
2.1.2 通用部件标准简介	15
2.2 常用通用部件	20
2.2.1 动力滑台	20
2.2.2 1TD 系列动力箱	29
2.2.3 工艺切削头(单轴头)	31
2.2.4 工作台	44
2.2.5 支承部件	47
复习思考题	50
第 3 章 组合机床总体设计	51
3.1 组合机床设计的步骤	51
3.1.1 拟定方案阶段	51
3.1.2 技术设计阶段	51
3.1.3 工作设计阶段	53
3.2 组合机床方案的制定	53
3.2.1 影响组合机床方案制定的主要因素	53

3.2.2	制定工艺方案应考虑的问题	55
3.2.3	确定机床配置型式及结构方案应考虑的问题	61
3.3	组合机床切削用量的确定及刀具选择	63
3.3.1	确定工序间余量	63
3.3.2	选择切削用量	64
3.3.3	确定切削力、切削转矩、切削功率及刀具耐用度	68
3.3.4	选择刀具结构	70
3.4	组合机床总体设计——三图一卡	73
3.4.1	被加工零件工序图	75
3.4.2	加工示意图	76
3.4.3	机床联系尺寸图	93
3.4.4	机床生产率计算卡	103
	复习思考题	107
第4章	组合机床多轴箱设计	110
4.1	概述	110
4.1.1	组合机床多轴箱的用途及分类	110
4.1.2	通用多轴箱的组成及其通用零件	110
4.2	多轴箱的设计步骤和内容	120
4.2.1	绘制多轴箱设计原始依据图	120
4.2.2	主轴、齿轮的确定及动力计算	121
4.2.3	多轴箱传动系统的设计与计算	123
4.2.4	多轴箱坐标计算	132
4.2.5	绘制多轴箱总图及零件图	141
4.3	攻螺纹主轴箱的设计特点	146
4.3.1	攻螺纹靠模机构及攻螺纹卡头	146
4.3.2	攻螺纹装置	150
4.3.3	攻螺纹行程的控制	151
4.3.4	攻螺纹电动机选择及攻螺纹主轴的制动	154
4.4	组合机床多轴箱计算机辅助设计(CAD)简介	154
4.4.1	组合机床多轴箱采用计算机辅助设计的必要性	154
4.4.2	主轴箱 CAD 发展现状	154
4.4.3	BOXCAD 系统简介	155
	复习思考题	158
第5章	组合机床设计实例	159
5.1	设计题目	159
5.2	被加工零件工序图	159
5.3	被加工零件加工示意图	163

5.3.1	切削用量的确定	163
5.3.2	各轴轴向力的计算	166
5.3.3	各轴转矩的计算	166
5.3.4	各轴功率的计算	166
5.3.5	各轴刀具耐用度的计算	167
5.3.6	导向的选择及其相关尺寸的计算	167
5.4	联系尺寸图	170
5.5	生产率计算卡	173
5.6	多轴箱设计	176
5.6.1	绘制多轴箱设计原始依据图	176
5.6.2	主轴、齿轮的确定及动力计算	177
5.6.3	多轴箱传动系统的设计与计算	178
5.6.4	多轴箱坐标计算	180
5.6.5	绘制多轴箱总图	181
附录	组合机床通用部件参数及联系尺寸	185
参考文献		209

第1章 组合机床及其自动线概述

1.1 组合机床及其特点

1.1.1 组合机床的产生背景

随着科学技术的发展和专业化程度的提高,很多企业的产品产量越来越大,精度也越来越高,如以汽车、拖拉机的箱体类零件为例,采用通用机床加工已经不能很好地满足其生产的要求。首先,用通用机床加工时,同时参加工作的刀具少,限制了机床生产率的提高;其次,当工件需要加工多个表面时,则需要对工件进行多次定位和夹紧,这样就会使零件的加工精度和生产率降低;第三,当某些机床重复加工一种工件时,通用机床的很多部件和机构变得毫无作用,造成设计功能上的浪费。

为了改善通用机床这些不利的加工条件,在生产实践中就出现了专用机床。专用机床是为完成某一工件的某一工序而设计制造的,其结构要比通用机床简单,加工精度稳定,生产率和自动化程度都较高。但是,专用机床也有其固有的缺点,如设计制造的周期长,不能尽快适应工件的变化,一旦被加工工件的尺寸、形状和结构有所变化,就必须重新设计制造。所以专用机床成本高,不利于产品的更新换代。

为消除上述两种机床的弊端,在生产实践过程中发展了一种新型机床——组合机床。

1.1.2 组合机床的概念及其特点

1. 组合机床的概念

组合机床是以大量的(70%~90%)通用部件为基础,配以少量专用部件,对一种或若干种工件按预先确定的工序进行加工的机床。它能够对工件进行多刀、多轴、多面、多工位同时加工。在组合机床上可以完成钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻螺纹、车削、铣削、磨削及滚压等工序,随着组合机床技术的发展,它能完成的工艺范围日益扩大。在组合机床自动线上也可以完成一些非切削工序,例如,打印、清洗、热处理、简单的装配、试验和在线自动检查等。

2. 组合机床的特点

组合机床与通用机床和其他专用机床相比,具有以下特点。

① 组合机床上的通用部件和标准零件占全部机床零部件总量的70%~90%,因此设计和制造周期短,经济效益好。

② 由于组合机床采用多刀加工,机床自动化程度高,因而比通用机床生产效率高,产品质量稳定,劳动强度低。

③ 组合机床的通用部件经过周密设计和长期生产实践考验,又有专门厂家成批生产,它与一般专用机床相比,其结构稳定,工作可靠,使用和维修方便。

④ 组合机床加工工件由于采用专用夹具、组合刀具和导向装置等,产品加工质量靠工艺装备保证,对操作工人的技术水平要求不高。

⑤ 当机床被加工的产品更新时,专用机床的大部分部件要报废。组合机床的通用部件是根据国家标准设计的,并等效于国际标准,因此其通用部件可以重复使用,不必另行设计和制造。

⑥ 组合机床易于联成组合机床自动线,以适应大规模和自动化生产的需要。

表 1-1 为采用组合机床或通用机床加工轿车凸轮轴支架的技术经济效益对比。

表 1-1 采用不同机床加工凸轮轴支架的技术经济效益对比

对比项目	通用机床	组合机床	经济效益/%
设备数量	3	1	减少 67
占地面积/m ²	11	6	减少 45
操作工人/名	3	1	减少 67
产品合格率/%	90	100	提高 10
每班产量/件	80	480	提高 5 倍

组合机床主要应用到大批、大量生产的行业,例如,汽车、拖拉机、柴油机、电动机和缝纫机等。

1.2 组合机床及其自动线的组成、分类和基本配置型式

1.2.1 组合机床的组成

图 1-1 为一单工位三面复合式组合机床。其中大部分为通用部件,如滑台 1,侧底座 3,立柱底座 4,立柱 5,动力箱 6。只有少量的为专用部件,如中间底座 2,夹具 7,多轴箱 8 等。

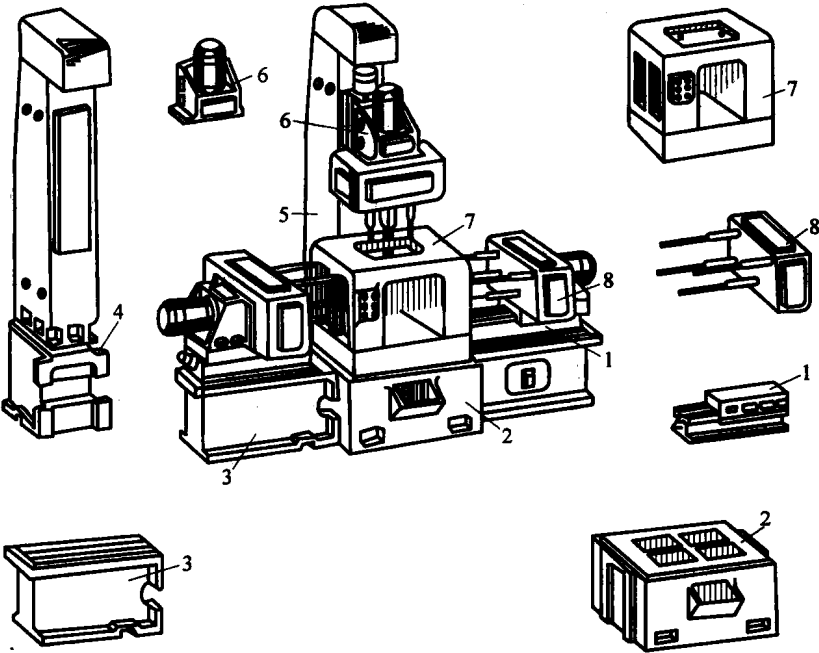


图 1-1 单工位三面复合式组合机床

1—滑台; 2—中间底座; 3—侧底座; 4—立柱底座; 5—立柱; 6—动力箱; 7—夹具; 8—多轴箱

图 1-2 为移动工作台式组合机床。当然还要有夹具(图中未表示)。

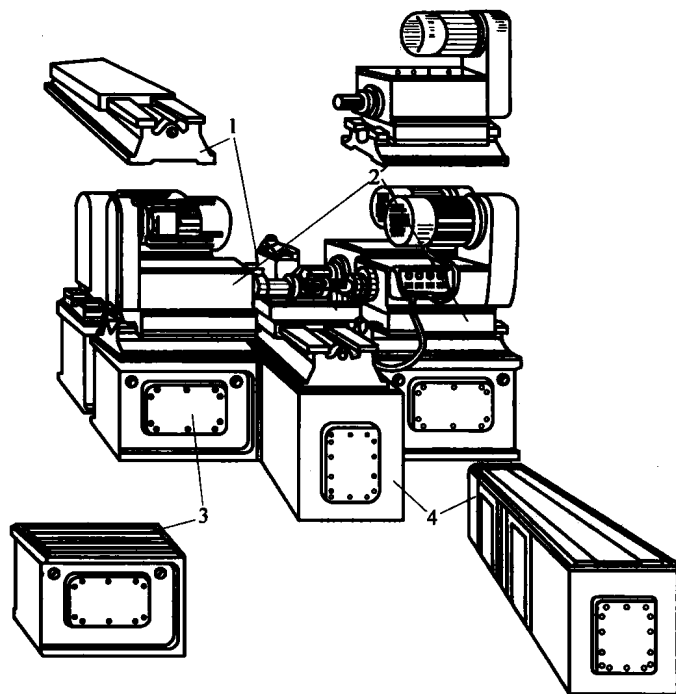


图 1-2 移动工作台式组合机床

1—移动工作台；2—主运动和进给运动部件；3—侧底座；4—移动工作台底座

1. 组合机床常用的通用部件

组合机床常用的通用部件有动力部件、输送部件、支承部件、控制部件和辅助部件。

(1) 动力部件

组合机床的动力部件有 4 种：机床主运动动力部件、机床进给运动动力部件、既能实现主运动又能实现进给运动的动力部件和为单轴头变化主轴转速的跨系列通用部件。

① 机床主运动动力部件，即形成机床切削速度或消耗主要动力的工作运动部件。如动力箱、多轴箱和单轴工艺切削头等。

② 机床进给运动动力部件，即工件上的多余材料不断被去除的工作运动部件。如液压滑台、机械滑台和数控滑台等。

③ 既能实现主运动又能实现进给运动的动力部件。如动力头、多轴转塔动力头。

④ 为单轴头变化主轴转速的跨系列通用部件。如 1NG 系列传动装置。

(2) 输送部件

输送部件主要用作夹具和工件的移动或转位。如回转工作台、移动工作台、回转轂轮和自动线的输送装置等。

(3) 支承部件

用于安装动力部件和输送部件等的通用部件。如侧底座、立柱、立柱底座和中间底座等。

(4) 控制部件

用于控制具有运动功能的各个部件,以保证实现组合机床的工作循环。它包括可编程控制器(PLC)、液压传动装置(包括液压元件、电气挡铁)、分级进给机构、自动检查装置及操纵台电柜等。

(5) 辅助部件

除上述部件以外的其他部件,例如,冷却、润滑、排屑以及自动线的清洗装置,气动或液压夹紧装置和机械扳手等。

2. 组合机床常用的专用部件

通常夹具、多轴箱、中间底座是需要根据加工工件的工艺结构特点设计的专用部件,但其中的大多数零件如定位元件、传动件等还是标准件和通用件。

1.2.2 组合机床的分类

组合机床按照组成其部件的大小分为大型组合机床与小型组合机床两大类。通用部件按其尺寸大小分为大型通用部件和小型通用部件两大类。大型通用部件指滑台台面宽度 $B > 250\text{mm}$ 的动力部件及其配套部件;小型通用部件指滑台台面宽度 $B \leq 250\text{mm}$ 的动力部件及其配套部件。用大型通用部件组成的机床称为大型组合机床,用小型通用部件组成的机床称为小型组合机床。

组合机床按照其配置形式可分为单工位和多工位组合机床两大类。单工位组合机床又有单面、双面、三面和四面几种,多工位组合机床则有移动工作台、回转工作台、中央立柱和回转鼓轮等配置形式。

此外,组合机床还可按照其主轴的方位分为卧式组合机床、立式组合机床、倾斜式组合机床和复合式组合机床。

1.2.3 组合机床的配置型式

1. 大型组合机床的配置型式

(1) 固定式夹具的单工位组合机床

这类组合机床的夹具和工作台固定不动,动力滑台实现机床的进给运动,滑台上安装的动力箱(连接多轴箱)实现机床的主运动。根据动力箱和多轴箱安装的方向不同,这类机床的配置型式有以下几种(见图 1-3):

- ① 卧式组合机床;
- ② 立式组合机床;
- ③ 倾斜式组合机床;
- ④ 复合式组合机床。

以上四种配置型式的组合机床,每一种都可再安装一个或多个动力部件,即可组成双面或多面式组合机床。

(2) 移动式夹具的(多工位)组合机床

这类组合机床的夹具安装在直线移动工作台或分度回转工作台上,并按照一定的节拍时间作间歇式移动或转动,使工件的工位得到转换,这类机床的配置型式,常见的有以下

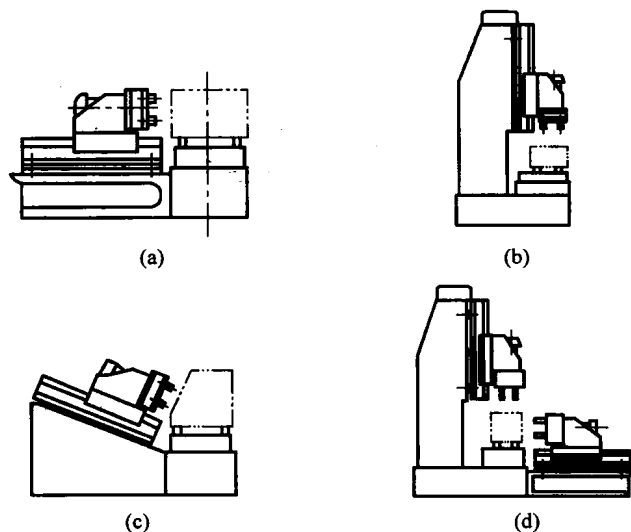


图 1-3 固定式夹具的单工位组合机床

(a) 卧式组合机床；(b) 立式组合机床；(c) 倾斜式组合机床；(d) 复合式组合机床

四种。

① 移动工作台式组合机床(图 1-4),这类机床的夹具和工件可作直线往复运动,是将工件按顺序送至各工位进行加工的多工位组合机床。

② 分度回转工作台式组合机床(图 1-5),它由分度回转工作台转位,是按顺序将工件送至工位进行加工的多工位组合机床。

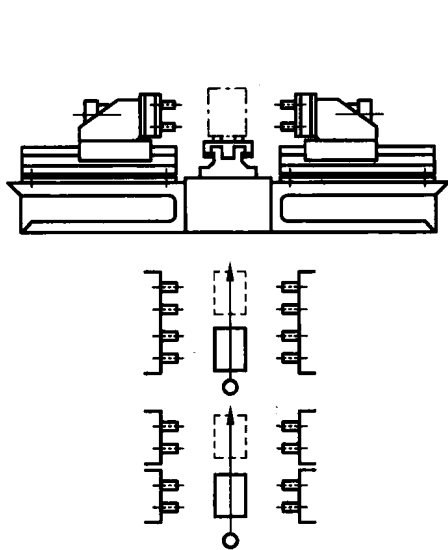


图 1-4 移动工作台式组合机床

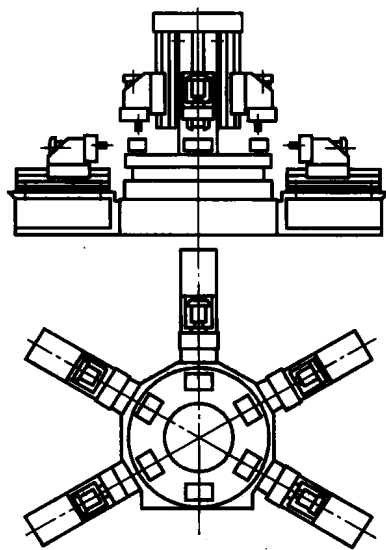


图 1-5 分度回转工作台式组合机床

③ 回转鼓轮式组合机床(图 1-6),夹具和工件由分度回转鼓轮转位,按顺序将工件送至各工位进行加工的多工位组合机床。

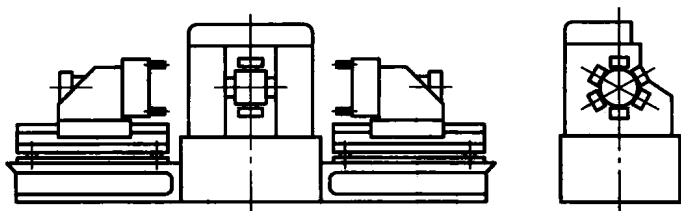


图 1-6 回转鼓轮式组合机床

④ 中央立柱式组合机床(图 1-7), 夹具和工件由环形回转工作台带动绕中央立柱转位, 按顺序将工件送至各工位进行加工的多工位组合机床。中央立柱各面可以安装垂直移动的动力部件, 在环形工作台的周围可以安装卧式动力部件, 机床一般为复合式配置型式。

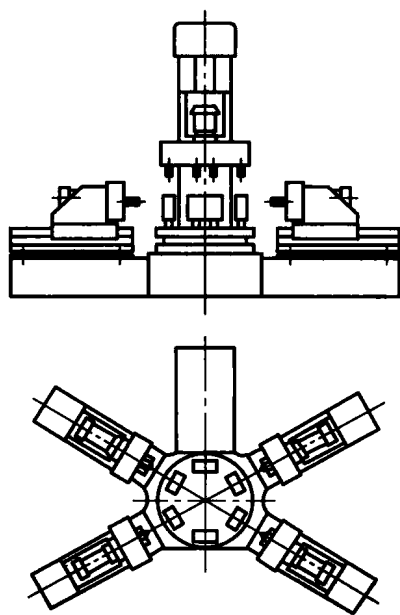


图 1-7 中央立柱式组合机床

(3) 转塔主轴箱式组合机床

这种组合机床分为两类: 单轴转塔动力头式与多轴转塔动力头式。前者转塔头的每一个接合面可安装一个刚性主轴, 后者转塔头的每个接合面可安装一个多轴箱。这种机床一般配置型式有如下两种。

① 转塔式主轴箱安装在滑台上, 主轴箱实现主运动, 由滑台实现进给运动(图 1-8(a)), 工件安装在分度回转工作台上, 转塔转位实现更换刀具, 分度回转工作台转位实现工件被加工面的转换。

② 转塔式主轴箱安装在固定的支承件上, 主轴箱只实现主运动。工件安装在滑台上, 由滑台实现进给运动(图 1-8(b))。

转塔主轴箱式组合机床可以组成双面式或多面式。

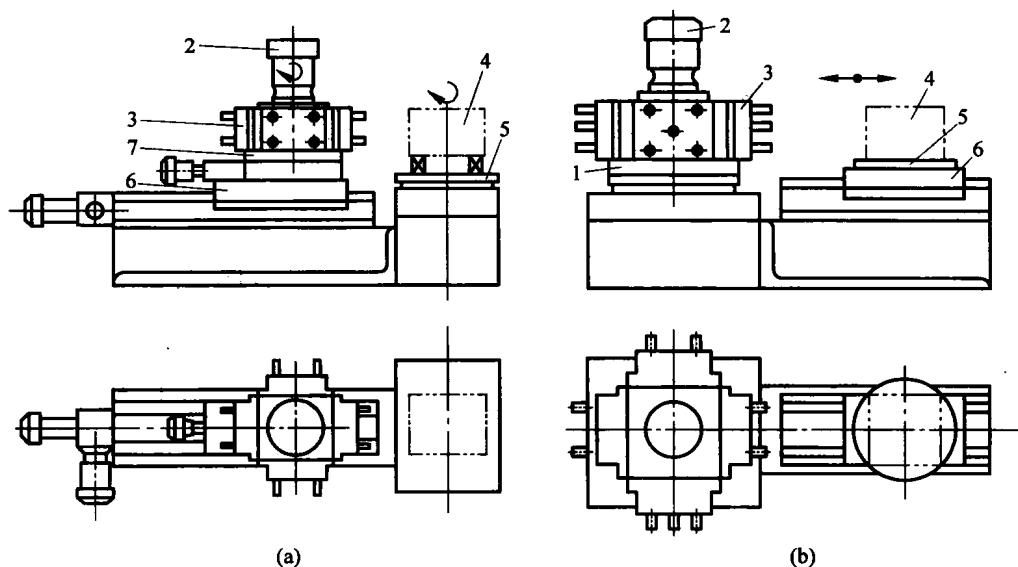


图 1-8 转塔主轴箱式组合机床

(a) 转塔主轴箱实现主运动和进给运动；(b) 转塔主轴箱实现主运动

1—转塔回转工作台；2—主电机；3—转塔主轴箱；4—工件；5—工件回转工作台；6—进给滑台；7—转塔架

2. 小型组合机床的特点及其配置型式

(1) 小型组合机床的特点

① 小型组合机床加工工件的材料品种变化大,有些工件用高速钢、工具钢制造,有些工件则用有色金属制造,因而机床的切削速度和切削力变化很大。例如,在有色金属上加工小直径孔时,机床的主轴转速不是因为刀具的耐用度而受到限制,而是受通用部件传动装置的最高转速所限制;机床在合金钢材料上加工小直径孔时,由于切削力大,研究防止刀具折断的措施将成为设计组合机床的重要因素。

② 小型组合机床的通用部件一般行程较短,部件的综合刚度较低,因此,小型组合机床不宜加工多层壁的同轴孔工件。

③ 小型组合机床采用多工位加工工件时,应尽可能避免粗、精加工工位同时切削,防止因粗加工工位的振动影响精加工工位的加工质量。

④ 小型组合机床一般为多刀、多工位加工。为了保证各工位生产节拍基本相同,应将加工时间长的工位,分散成多个工位循序加工。

⑤ 设计小型多工位组合机床时,为使相邻工位的动力部件不发生碰撞,可将几个工位的多轴箱设计成一体。但应使多轴箱外扩尺寸不致过大,并应验算动力头的主电动机功率是否满足要求。

⑥ 小型组合机床上采用的夹具外形尺寸应小,夹具结构要简单,夹紧力的传递要直接。当机床单件工时小于 60s 时,应考虑采用自动装卸工件,防止因工人疲劳影响机床加工质量。

(2) 小型组合机床的配置型式

小型组合机床主要配置型式有两类：固定式夹具的单工位组合机床和移动式夹具的多工位组合机床。如图 1-9(a)所示为带一个动力头的单工位组合机床，图 1-9(b)为带两个动力头的单工位组合机床，图 1-9(c)为带 4 个动力头的单工位组合机床，图 1-9(d)为带环形底座的单工位组合机床，图 1-9(e)为带分度夹具的单工位组合机床，图 1-9(f)为带回转工作台的多工位组合机床。

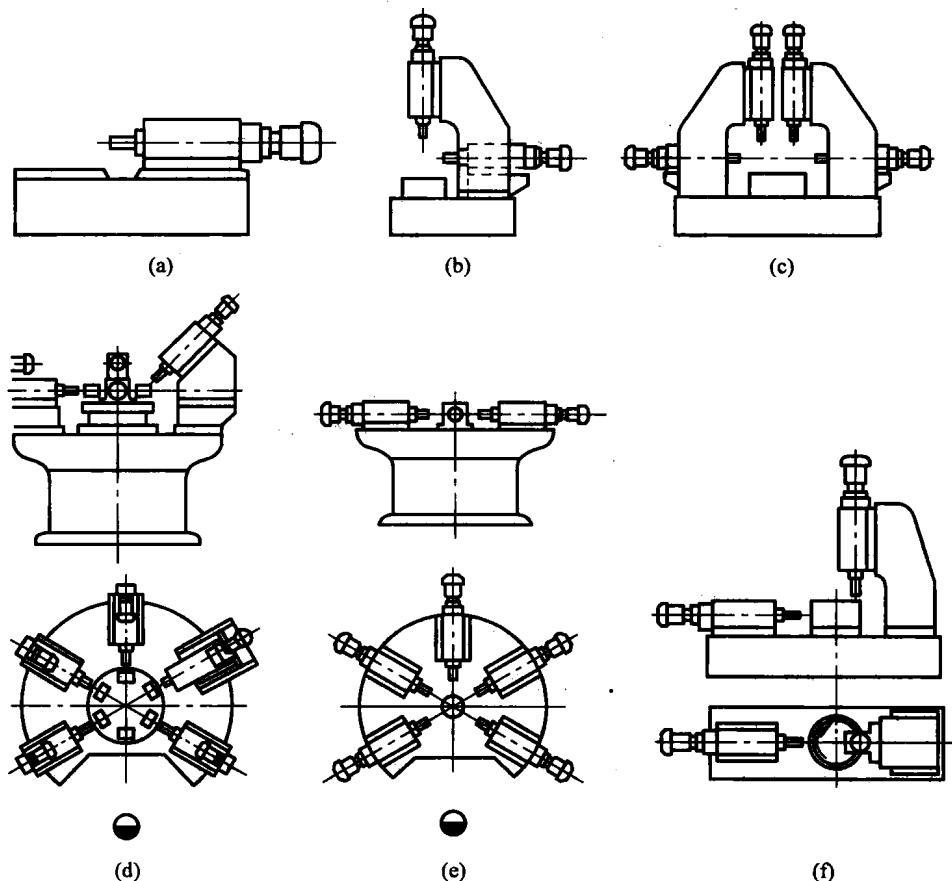


图 1-9 小型组合机床主要配置型式

1.2.4 组合机床自动线的组成、分类和连接方式

1. 组合机床自动线的组成

组合机床自动线是按既定工艺顺序排列的若干台组合机床(和少量专用机床)及其他辅助设备组成,用传送装置和控制系统将各机床联系起来,使工件自动地依次经过各个加工工位进行加工的连续作业线。

图 1-10 所示为一条组合机床自动线,从中可以看出组合机床自动线的主要组成部分。组合机床自动线通常由如下几部分设备组成。

① 自动线的组合机床 $C_1, C_2, C_3, \dots$

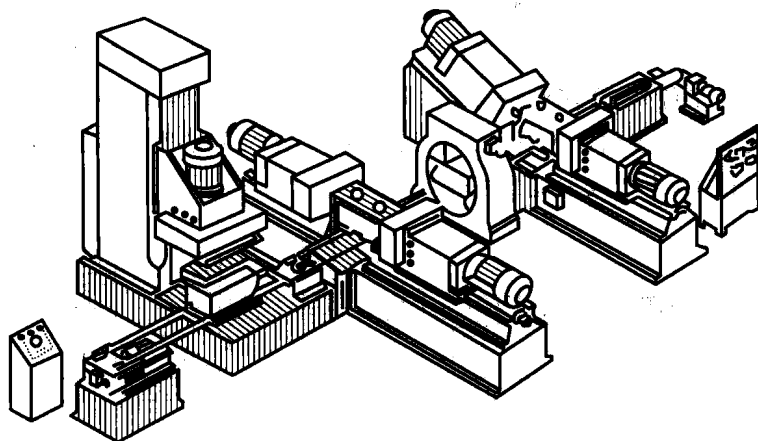


图 1-10 组合机床自动线

- ② 自动线的输送设备 $S_1, S_2, \dots$
- ③ 自动线的检查设备 $J_1, J_2, \dots$
- ④ 自动线的电气设备 $D_1, D_2, \dots$
- ⑤ 自动线的液压设备 $Y_1, Y_2, \dots$
- ⑥ 自动线的其他设备 $Q_1, Q_2, \dots$

自动线的其他设备包括气动设备、排屑设备、冷却设备以及工具管理台等。

2. 组合机床自动线的分类

组合机床自动线按工件输送方式分为直接输送式、间接输送式和悬挂输送式三大类。

(1) 直接输送式组合机床自动线

这种传送方式是工件由传送装置直接传送，依次传送到各工位，传送基面就是工件的某一表面。可分为通过式、非通过式两种。

① 通过式组合机床自动线

图 1-11 所示为通过式组合机床自动线。这种自动线的工件输送带贯穿全线的机床，将工件从自动线的始端，依次送到各机床夹具上，进行不同工序的加工，加工完的工件从自动线的末端送出。其特点是传送工件方便，生产面积可充分利用。

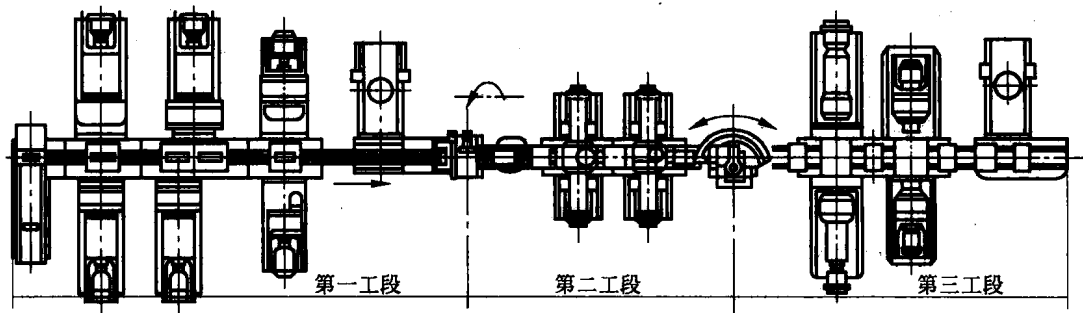


图 1-11 通过式组合机床自动线

② 非通过(外移)输送式组合机床自动线

图 1-12 所示为非通过式组合机床自动线。这种自动线的输送装置除了能使工件从一个工位输送到另一工位外,还能作垂直于主输送方向的运动,因此,自动线能加工工件的多个面。该方式便于采用多面加工,保证加工表面的相互位置精度,有利于提高生产率,但需要增加横向运载机构,生产线占地面积较大。

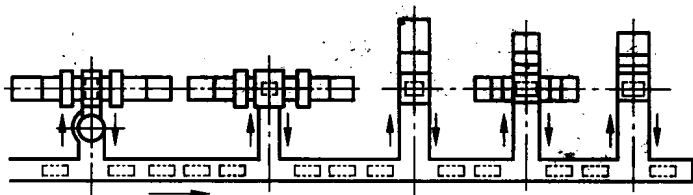


图 1-12 非通过式组合机床自动线

(2) 间接输送(带随行夹具)式组合机床自动线

间接输送(带随行夹具)式组合机床自动线工件安装在随行夹具或随行托盘上,由输送装置按工艺顺序送至各加工工位进行加工的组合机床自动线。随行夹具式输送广泛用于工件没有稳定的输送基面,或有色金属工件(防止碰伤表面)的机床自动线加工中。随行夹具返回装、卸工位的方式有:水平返回式、上方返回式、下方返回式、复合返回式和封闭框形返回式等。

另一类方式是带中央立柱的随行夹具,图 1-13 所示即带中央立柱的随行夹具生产线。这种方式适用于同时实现工件两个侧面及顶面加工的场合,在装卸工位装上工件后,随行夹具带着工件绕生产线一周便可完成工件三个面的加工。

(3) 悬挂输送式组合机床自动线

悬挂输送式组合机床自动线如图 1-14 所示。这种形式组合机床自动线主要适用于外形复杂及没有合适传送基准的工件及轴类零件。工件传送系统设置在机床的上空,传送机械手悬挂在机床上方的机架上。各机械手之间的间距一致,不仅完成机床之间的工件传送,还完成机床的上下料。其特点是结构简单,适用于生产节拍较长的生产线。这种传送方式只适用于尺寸较小、形状较复杂的工件。

3. 组合机床自动线的连接方式

组合机床自动线的连接方式可分为刚性连接和柔性连接两大类。

(1) 刚性连接

刚性连接如图 1-15(a)和(b)所示。这种连接方式的传送装置将生产线连成一个整体,用同一节奏把工件从一个工位传到另一工位。其特点是生产线中没有储料装置,工件传送有严格的节奏性,如果某一工位出现故障,将影响到全线。此种连接方式适用于各工序节拍基本相同、工序较少的生产线或长生产线中的部分工段。

(2) 柔性连接

柔性连接如图 1-15(c)和(d)所示。这种连接方式的传送装置适用于设有储料装置的生产线,储料装置可设在相邻设备之间,或相隔若干台设备之间。由于储料装置储备一定数量的工件,因此当某台设备因故障停歇时,其余各台机床仍可继续工作一段时间。在这段时间故障如能排除,可避免全线停产。另外,当相邻机床的工作循环时间相差较大时,储料装置又起到一定的调剂平衡作用。