

组合机床设计

沈阳工业大学 大连铁道学院 吉林工学院 编

上海科学技术出版社

组合机床设计

沈阳工业大学 大连铁道学院 吉林工学院 编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书内容包括组合机床概述、通用部件、总体设计、主轴箱设计、小型组合机床设计、组合机床自动线等六章。书后附录有大、小型组合机床通用部件参数及联系尺寸。

书中阐述了组合机床及其自动线设计的基本要求、步骤、方法及应考虑的有关问题。

本书可作为高等院校机械制造工艺及设备专业的选修课教材,也可供有关业余大学、职工大学、电视大学、函授大学师生和有关工程技术人员阅读参考。

组 合 机 床 设 计

沈阳工业大学 大连铁道学院 吉林工学院 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海市印十三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 278,000

1985年9月第1版 1985年9月第1次印刷

印数: 1-11,400

统一书号: 15119·2448 定价: 2.25 元

编写说明

根据机械制造工艺及设备专业教学及有关工程技术人员需要,在原编《金属切削机床设计》(下册)第八章的基础上,扩编成《组合机床设计》一书,可作为机制专业选修课教材。

全书共分六章。各章分别由有关院校同志编写:第一、二、五章,沈阳工业大学韦有仁;第三、四章,大连铁道学院丛凤廷、邓澄文;第六章,吉林工学院迟建山。全书由迟建山、丛凤廷统稿。

本书在编写过程中,得到大连组合机床研究所等单位的大力支持,并采纳了其他院校提出的很多宝贵意见,在此一并致谢。

由于编者水平所限,错误和不足之处在所难免,热诚欢迎批评指正。

编者 1985年1月

目 录

第一章 组合机床概述	1
§ 1-1 组合机床及其特点	1
§ 1-2 组合机床分类和基本配置型式	2
§ 1-3 组合机床的工艺范围及加工精度	4
一、孔加工	5
二、平面加工	6
三、止口加工	6
§ 1-4 采用组合机床的经济分析	6
§ 1-5 组合机床的发展趋向	9
一、提高通用部件的水平	9
二、发展适应中、小批生产的组合机床	9
三、采用新刀具	11
四、发展自动检测技术	11
五、扩大工艺范围	11
第二章 组合机床的通用部件	12
§ 2-1 通用部件简介	12
一、通用部件的分类	12
二、通用部件标准简介	12
§ 2-2 动力滑台及动力箱	13
一、HY 系列液压动力滑台	14
二、HJ 系列机械动力滑台	18
三、动力箱	19
§ 2-3 工艺切削头	20
一、TX 系列铣削头	20
二、TA 系列镗削头	23
三、TZ 系列钻削头	23
四、TC 系列液压镗孔车端面头	26
§ 2-4 转塔式动力头	29
一、单轴转塔动力头	30
二、多轴转塔动力头	30
§ 2-5 回转工作台	33
一、回转工作台概述	33
二、液压反靠式回转工作台	33
三、齿盘定位回转工作台	36
四、钢球定位回转工作台	37
§ 2-6 组合机床的支承部件	37
一、组合机床支承部件的作用与类型	37
二、组合机床卧式床身	37
三、组合机床立式床身	38

第三章 组合机床总体设计	39
§ 3-1 组合机床设计的步骤	39
一、拟定方案阶段	39
二、技术设计阶段	39
三、工作设计阶段	41
§ 3-2 组合机床方案的制定	41
一、影响组合机床方案制定的主要因素	41
二、制定工艺方案应考虑的问题	43
三、确定机床配置型式及结构方案应考虑的问题	49
§ 3-3 确定切削用量及选择刀具	52
一、确定工序间余量	52
二、选择切削用量	53
三、确定切削力、切削扭矩、切削功率及刀具耐用度	56
四、选择刀具结构	59
§ 3-4 组合机床总体设计——三图一卡	60
一、被加工零件工序图	60
二、加工示意图	63
三、机床联系尺寸图	73
四、机床生产率计算卡	79
第四章 组合机床主轴箱设计	83
§ 4-1 概述	83
一、组合机床主轴箱的用途及分类	83
二、通用主轴箱的组成	83
§ 4-2 主轴箱的设计步骤和内容	89
一、绘制主轴箱设计原始依据图	89
二、主轴结构型式的选择及动力计算	90
三、传动系统的设计与计算	92
四、主轴箱坐标计算	97
五、主轴箱总图设计	108
§ 4-3 攻丝主轴箱的设计特点	113
一、攻丝组合机床结构方案的选择	113
二、攻丝卡头及攻丝靠模装置	115
三、活动攻丝模板及钻攻复合模板	120
四、攻丝行程控制机构	121
五、设计攻丝主轴箱的其他问题	123
第五章 小型组合机床设计	124
§ 5-1 小型组合机床的工艺范围和配置型式	124
一、小型组合机床的工艺范围	124
二、小型组合机床能达到的加工精度	124
三、小型组合机床的配置型式	124
§ 5-2 小型组合机床的通用部件	125
一、分类与配套	125
二、动力部件	126
三、输送部件	129

§ 5-3 小型组合机床的设计特点	131
一、总体设计特点	131
二、主轴箱的设计特点	131
三、钻、攻丝、镗类小型组合机床的设计特点	133
§ 5-4 小型组合机床设计	134
一、工艺设计	135
二、总体设计	136
三、液压系统设计	141
第六章 组合机床自动线	144
§ 6-1 自动线的组成和分类	144
§ 6-2 自动线的输送装置	149
一、输送带的作用和类型	149
二、步伐式输送带	150
三、输送带的驱动装置	152
§ 6-3 自动线的总体方案设计	154
一、工件输送基准的选择	154
二、自动线上加工顺序的安排	156
三、核算切削用量和平衡工序节拍	159
四、拟定自动线的“三图一表”	162
附 录	167
一、大型组合机床通用部件参数及联系尺寸	167
二、小型组合机床通用部件参数及联系尺寸	175
三、设计用标准资料及参考资料(大连组合机床研究所)	182

第一章 组合机床概述

§1-1 组合机床及其特点

组合机床是由大量的通用部件和少量专用部件组成的工序集中的高效率专用机床。它能够对一种(或几种)零件进行多刀、多轴、多面、多工位加工。在组合机床上可以完成钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、攻丝、车削、铣削、磨削及滚压等工序,生产效率高,加工精度稳定。

组合机床与通用机床、其他专用机床比较,具有以下特点:

(1) 组合机床上的通用部件和标准零件约占全部机床零、部件总量的70~80%,因此设计和制造的周期短,投资少,经济效果好。

(2) 由于组合机床采用多刀加工,并且自动化程度高,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是经过周密设计和长期生产实践考验的,又有专门厂成批制造,因此结构稳定、工作可靠,使用和维修方便。

(4) 在组合机床上加工零件时,由于采用专用夹具、刀具和导向装置等,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) 当被加工产品更新时,采用其他类型的专用机床时,其大部分部件要报废。用组合机床时,其通用部件和标准零件可以重复利用,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,以适应大规模的生产需要。

图1-1和图1-2分别表示由通用部件和少量专用部件组成的卧式和立式组合机床。从图中可以看出,两类机床虽然配置型式不同,但都具有大量的通用部件。利用这些通用部件还可以组成各种不同型式的组合机床。

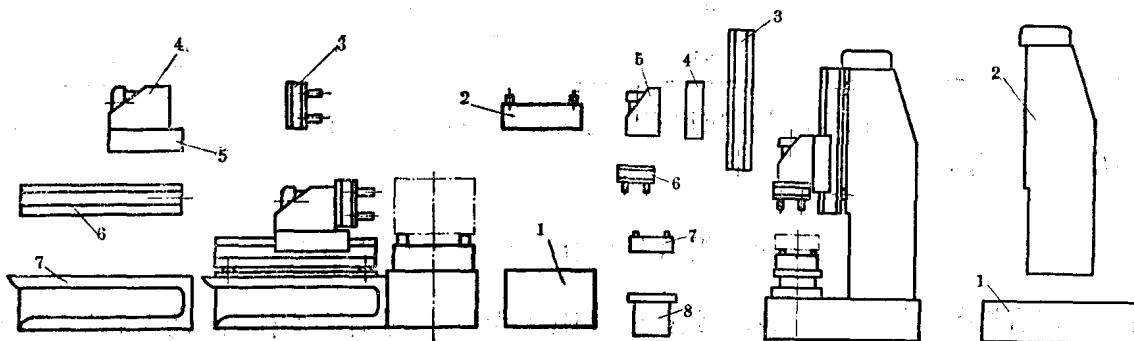


图 1-1 卧式组合机床及其组成部件

1—中间底座; 2—夹具; 3—主轴箱; 4—动力箱;
5—滑台; 6—滑座; 7—床身(侧底座)

图 1-2 立式组合机床及其组成部件

1—底座; 2—立柱; 3—滑座; 4—滑台; 5—动力箱;
6—主轴箱; 7—夹具; 8—回转工作台

组合机床常用的通用部件有:床身(侧底座)、底座(包括中间底座和立柱底座)、立柱、动力箱、动力滑台、各种工艺切削头等。对于一些按顺序加工的多工位组合机床,还具有移动工作台或回转工作台。

动力箱、各种工艺切削头和动力滑台是组合机床完成切削主运动或进给运动的动力部件。其中还有能同时完成切削主运动和进给运动的动力头。而只能完成进给运动的动力部件称为动力滑台。固定在动力箱上的主轴箱是用来布置切削主轴,并把动力箱输出轴的旋转运动传递给各主轴的切削刀具,由于各主轴的位置与具体被加工零件有关,因此主轴箱必须根据被加工零件设计,不能制造成完全通用的部件,但其中很多零件(例如:主轴、中间轴、齿轮和箱体等)是通用的。

床身、立柱、中间底座等是组合机床的支承部件,起着机床的基础骨架作用。组合机床的刚度和部件之间的精度保持性,主要是由这些部件保证。移动的或回转的工作台是多工位组合机床的主要部件之一,它起着转换工位和输送工件的作用,因此它们的直线移动和回转运动的重复定位精度直接影响组合机床的加工精度。

除了上述主要部件之外,组合机床还有各种控制部件,主要是指机床按顺序动作,以保证机床按规定的程序进行工作。

组合机床的通用部件,绝大多数已由机械工业部颁布成国家标准,并按标准所规定的名义尺寸、主参数、互换尺寸等定型,各种通用部件之间有配套关系。这样,用户可根据被加工零件的尺寸、形状和技术要求等,选用通用部件,组成不同型式的组合机床,以满足生产的需要。

表 1-1 所列为加工轿车凸轮轴支架,采用组合机床同采用通用机床的技术经济效果对比。

表 1-1 采用组合机床加工凸轮轴支架的技术经济效果

对比项目	通用机床	组合机床	经济效果
设备台数	3	1	减少 67%
占地面积 (米 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

目前,我国组合机床已广泛应用到大批大量生产的行业,如汽车、拖拉机、柴油机、电动机、缝纫机等。

§1-2 组合机床分类和基本配置型式

组合机床有大型组合机床与小型组合机床两大类,它们不仅在体积和功率上有大小之别,而且在结构和配置型式等方面也有很大差异。这里主要介绍大型组合机床的配置型式。有关小型组合机床的设计见第五章。大型组合机床的配置型式可分为三大类:

1. 具有固定式夹具的单工位组合机床

这类组合机床夹具和工作台都固定不动。动力滑台实现进给运动,滑台上的动力箱(连

主轴箱)实现切削主运动。根据动力箱和主轴箱的安置方式不同(图 1-3),这类机床的配置型式有以下几种。

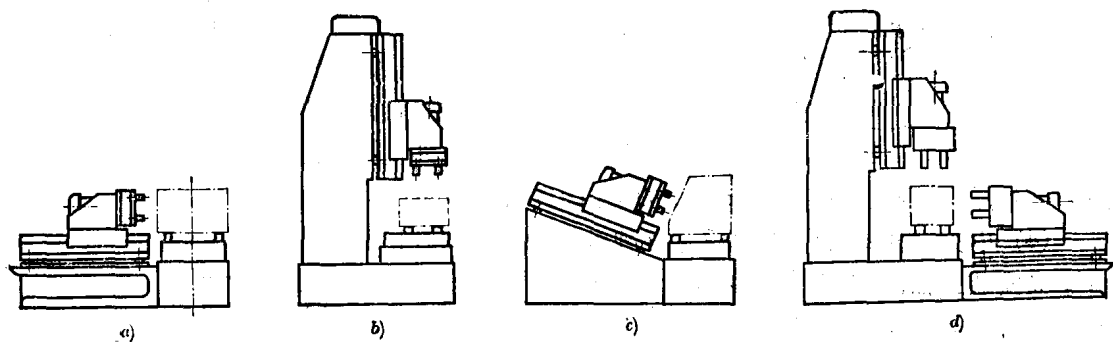


图 1-3 具有固定式夹具的组合机床

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

- (1) 卧式组合机床(动力箱水平安装);
- (2) 立式组合机床(动力箱垂直安装);
- (3) 倾斜式组合机床(动力箱倾斜安装);
- (4) 复合式组合机床(动力箱具有上述两种以上的安装状态)。

在以上四种配置型式的组合机床中,如果每一种之中再安置一个或几个动力部件时,还可以组成双面或多面组合机床。

2. 具有移动式夹具的(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回转运动工作台上,并按照一定的节拍时间作间歇移动或转动,使工位得到转换。这类机床的配置型式,常见的有以下四种。

- (1) 具有移动工作台的机床(图 1-4),这类机床的夹具和工件可作直线往复移动。

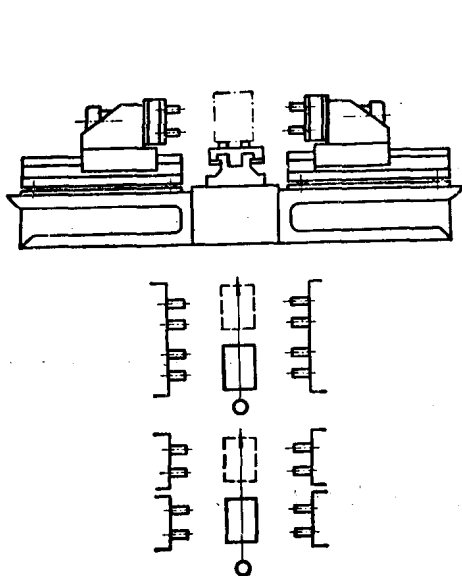


图 1-4 具有移动工作台的组合机床

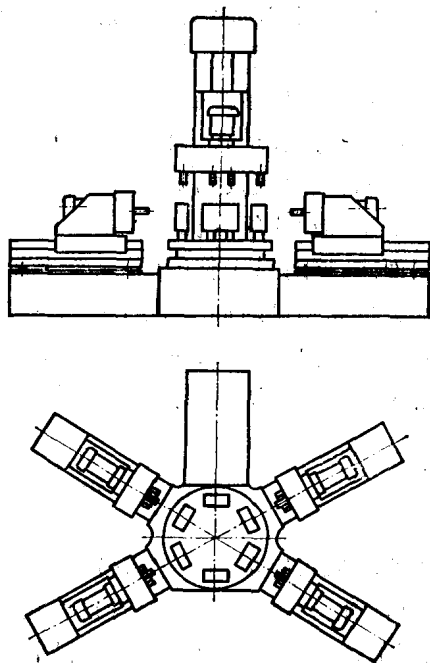


图 1-5 具有回转工作台的组合机床

(2) 具有回转工作台的机床(图 1-5), 这种机床的夹具和工件可绕垂直轴线回转, 在回转工作台上每个工位通常都装有工件。

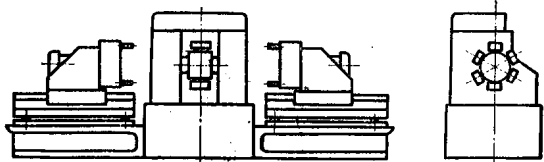


图 1-6 鼓轮式组合机床

(3) 鼓轮式机床(图 1-6), 这种机床的夹具和工件可绕水平轴线回转。此种机床一般为卧式单面或卧式双面, 而较少采用三面配置。此外也有辐射式的, 它除了安装卧式动力部件外, 还在垂直于鼓轮回转轴线的平面上安装动力部件。

(4) 中央立柱式机床(图 1-7), 这种机床具有台面直径较大的环形回转工作台。在工作台中央安装立柱, 立柱上安装动力部件, 而在工作台的周围还安装有卧式动力部件, 工件和夹具则安装在回转工作台上, 这种机床一般都是复合式的。

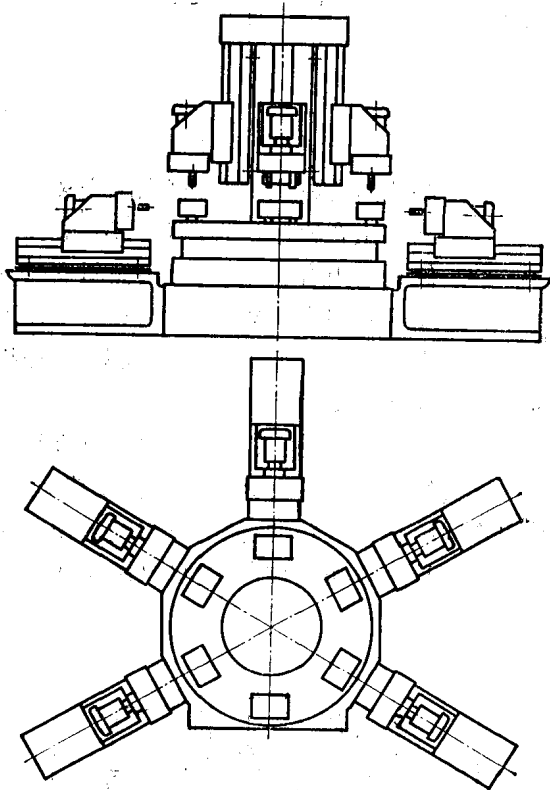


图 1-7 中央立柱式组合机床

3. 转塔主轴箱式组合机床

转塔主轴箱式组合机床分为两类: 单轴转塔动力头式组合机床和多轴转塔头式组合机床。前者转塔头的每个结合面可安装一个刚性主轴。后者转塔头的每个结合面可安装一个主轴箱。这种机床一般配置型式有:

(1) 转塔式主轴箱只实现切削运动, 被加工零件安装在滑台上, 由滑台实现进给运动, 如图 1-8a 所示。

(2) 转塔式主轴箱安装在滑台上, 转塔式主轴箱既实现切削主运动又实现进给运动, 如图 1-8b 所示。被加工零件安装在回转工作台上, 转塔式主轴箱转位更换刀具, 而工件转位改换被加工的平面。

转塔主轴箱式组合机床可以组成双面式或三面式, 同时对工件的两、三个平面进行加工。

这类机床切削时间与辅助时间不重合, 转塔主轴箱各工位的切削时间串联, 因此机床的工作效率较低, 由于各工位切削时间不重合, 减少了切削振动的互相干扰, 加工精度较高。当机床用于中批生产时, 机床负荷率较高, 机床占地面积较小。

§1-3 组合机床的工艺范围及加工精度

组合机床可完成的工艺有铣平面、刮平面、车端面、钻孔、扩孔、镗孔、铰孔、攻丝、倒角、铰窝、钻深孔、切槽等。随着综合自动化技术的发展, 组合机床可完成的工艺范围也在不断扩大, 除了上述工艺外, 还可完成车外圆、车锥面、车弧面、切削内外螺纹、滚压孔、拉削内外圆柱面和平面、磨削、抛光、珩磨, 甚至还可进行冲压、焊接、热处理、装配、自动测量和检查等。

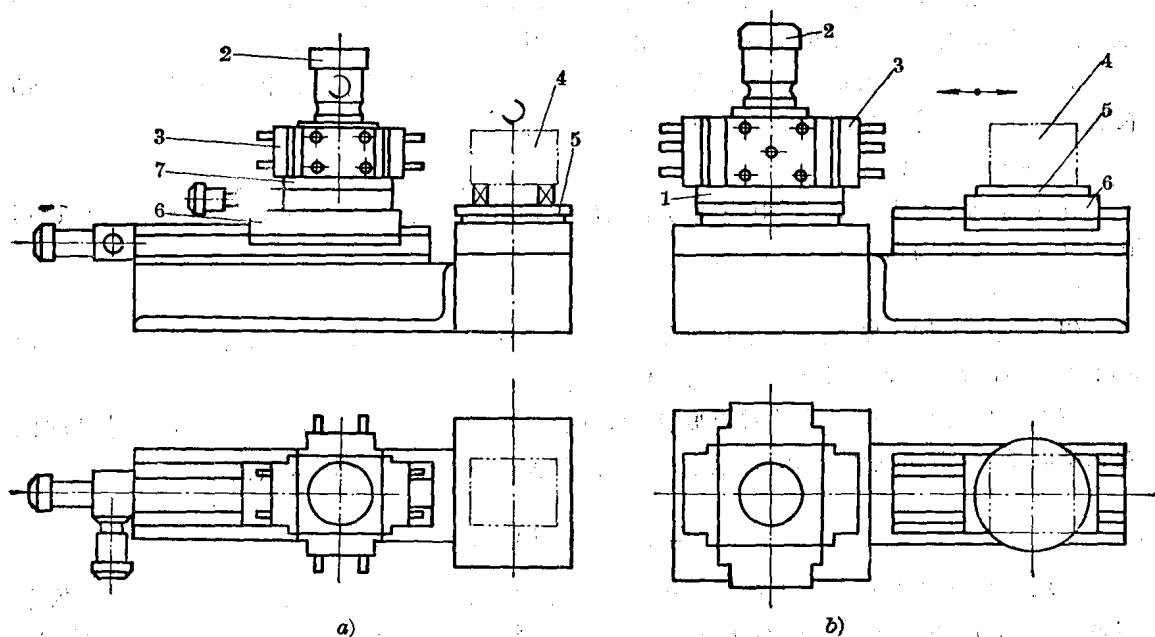


图 1-8 转塔主轴箱式组合机床

a) 转塔主轴箱实现主运动; b) 转塔主轴箱实现主运动和进给运动

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

组合机床的加工精度简述如下:

一、孔 加 工

1. 孔的尺寸精度

采用铰孔或精镗孔时,孔的精度可达 H6 级,表面粗糙度为 $R_a 1.6$ 微米,孔的圆度在孔径尺寸公差一半范围内。加工有色金属时,采用精密夹具,经过 3~4 次加工,精度可以稳定地达 H6 级,表面粗糙度可达 $R_a 0.8 \sim R_a 0.4$ 微米。

2. 孔的同轴度

当从两面多轴加工时,孔的同轴度一般为 0.05 毫米。当从一面进行精镗孔,并且采用固定式夹具,镗刀杆两端都有精密导向装置,夹具在精度良好的条件下,在 1000 毫米长度内,被加工零件几个孔的同轴度可保证在 0.015~0.03 毫米以内。当分别从两面对同一轴线上的孔进行单轴加工时,在有中间精密导向装置条件下,其同轴度亦可保证在 0.015~0.03 毫米。

3. 孔的平行度

在组合机床上加工,孔与孔相互之间的平行度以及孔对加工基面的平行度,在 1000 毫米长度内可达 0.02~0.05 毫米。

4. 孔的位置精度

孔的位置精度与夹具、机床的型式和精度有很大关系。在固定式夹具的机床上镗孔,孔间距离和孔的轴线与定位基面的位置精度可稳定地达到 $\pm 0.025 \sim \pm 0.05$ 毫米。在多工位机床上,由于回转工作台或回转鼓轮存在定位误差,则加工精度不高。如果在同一工位上,带有悬挂式活动钻模板,对孔进行精加工时,其位置精度可达到 ± 0.05 毫米。在不同工位

上分别进行孔加工时,精度较低。用立式多工位回转工作台机床加工时,其精度可达 ± 0.1 毫米。用鼓轮式机床加工时,其精度只能达到 ± 0.2 毫米,甚至更低。

在同一工位上钻孔时,位置精度一般可以保持在 ± 0.2 毫米范围内。在具有固定式钻模板的机床上钻孔,其精度可以达到 ± 0.15 毫米。

5. 孔的垂直度

在组合机床上加工孔,其中心线对基面以及相对另一个孔的中心线,其垂直度均可达到在 100 毫米长度内偏差 0.02 毫米。

6. 螺孔精度

组合机床上加工螺孔多利用攻丝靠模装置,若润滑条件良好,在铸铁零件上可以加工出 2 级精度的螺孔,其表面粗糙度为 $R_a 1.6$ 微米。

螺孔的位置精度由于攻丝时以底孔为定位基准,加上其他误差的影响,因此比钻孔的位置精度略低,一般可达到 ± 0.25 毫米,机床精度较高时可达 ± 0.15 毫米。

二、平面加工

在组合机床及其自动线上常用铣削、刮削、车削(端面)和拉削等方法加工平面。一般采用铣削头、滑台和滑座等通用部件,根据被加工工件的工艺要求组成单面、双面以及立式、回转台式等多种型式的组合铣床。当加工大型的箱体类工件时,一般采用铣削头固定、工件安装在工作台上移动的布局型式。这样的机床结构较简单,刚性较好,加工精度较高。在加工中小型工件时,通常将铣削头组成鼓轮式组合铣床或立式连续回转台式组合铣床,这类机床生产效率高,加工精度较低。

在组合机床上加工平面的平直度可以达到在 1000 毫米长度内偏差 0.02~0.05 毫米,表面粗糙度 $R_a 3.2$ 微米。对定位基面的平行度可以保证在 0.05 毫米以内,到定位基面的距离(一般在 500 毫米以内)尺寸公差可以保证在 0.05 毫米以内。

三、止口加工

多轴加工,采用动力滑台在死挡铁上停留的方法,其加工精度能达到 0.15~0.25 毫米;单轴加工,采用特殊结构,加工到终点使挡块顶在被加工工件的表面,一般精度可以达到 0.08~0.10 毫米。条件良好时,精度可以保证在 0.02~0.045 毫米以内。

§1-4 采用组合机床的经济分析

组合机床是一种高效率专用机床,有特定的使用条件,不是在任何情况下都能收到良好的经济效益。在确定设计组合机床前,应该进行具体的技术经济分析。评价组合机床技术经济效果的程序如下页表 1-2 前的框图。

加工同一个机械产品的零件,通常会有许多种工艺方案,不同的方案具有不同的技术经济效果。影响技术经济效果的因素很多。表 1-2 提供了评价组合机床技术经济效果的指标体系框图,框图指标体系把技术因素和经济因素相结合,把当前效益与长远效益相结合,把定性分析指标与定量分析指标相结合。有时技术指标先进的方案,经济指标不一定优越。因此,需要对技术、经济指标作综合评价,综合多数专家的意见,选出优化方案进行经济效果评

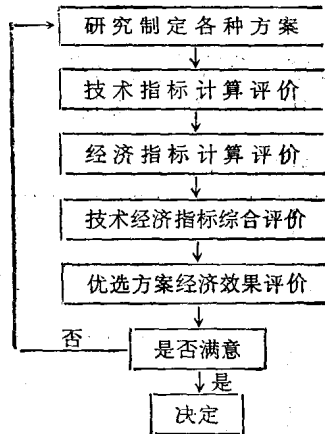
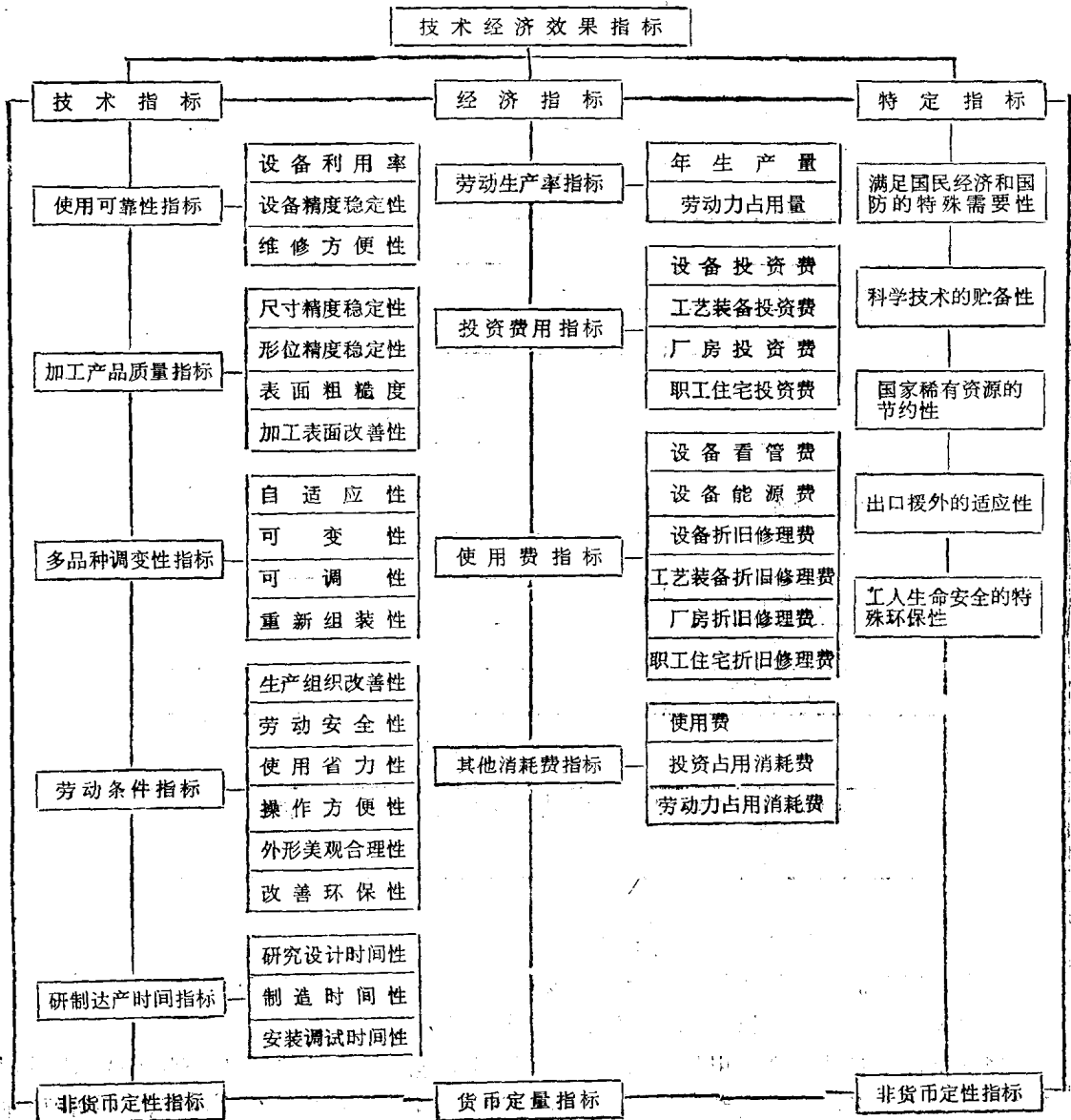


表 1-2 评价技术经济效果的指标体系框图



价,如果满意即可决定。

技术指标的优化方案采取专家评分法确定。技术指标中评分的因素是由两部分构成:因素重要性系数和满足程度评分。因素重要性系数见表 1-3 所示,满足程度评分见表 1-4。

表 1-3 技术指标因素重要性系数标准

技术指标因素名称	评定重要性系数标准	
	单品种加工机床	多品种加工机床
设备利用率	20	16
设备精度稳定性	13	11
维修方便性	7	6
尺寸精度稳定性	12	11
形位精度稳定性	9	8
表面粗糙度	6	5
加工表面改善性	3	3
自适应性		8
可变性		6
可调性		4
重新组装性		2
生产组织改善性	5	4
劳动安全性	5	3
使用省力性	4	2
操作方便性	3	2
外形美观性	2	1
改善环保性	1	1
研究设计时间性	5	3
制造时间性	3	2
安装调试时间性	2	2

表 1-4 满足程度评分

因素满足程度	最好	较好	一般	较差	最差
评分标准	5	4	3	2	1

$$\text{因素满足程度平均分} = \frac{\text{总分}}{\text{参加评价人数}}$$

技术指标评价总分的计算 = $\sum$ 因素重要性系数 $\times$ 满足程度平均分
参加评定的各方案,得总分最多的方案为技术指标优化方案。

经济指标中各因素都能用货币值定量计算,其算法可根据财会部门现行制度计算,也可参照大连组合机床研究所编制的《设计指导资料 ZD 98》所示计算公式计算。参加评比的

各方案单件产品全部消耗费用最少的方案为经济指标优化方案。

有时在方案分析中,技术指标先进的方案经济指标不一定先进。因此需要对技术经济指标作综合分析,常用综合评价系数 V_i 进行比较。 V_i 数值大者为优化方案。

对比方案加工产品的年产量相等时

$$V_i = \frac{F_i \sum Z_i}{Z_i \sum F_i}$$

对比方案加工产品的年产量不相等时

$$V_i = \frac{F_i \sum Z_{is}}{Z_{is} \sum F_i}$$

式中: F_i ——某方案的技术指标评价总分;

Z_i ——加工年产量相等时,某方案年消耗费用;

Z_{is} ——某方案单件产品消耗费用;

$\sum Z_i$ ——所有参加评比方案年消耗费用总合;

$\sum Z_{is}$ ——所有参加评比方案单件产品消耗费用总和;

$\sum F_i$ ——所有参加评比方案技术指标评价总分之和。

特定指标是为达到特殊目的设计、制造的机床而规定的,机床只要能满足其中某一因素,经主管部门批准即可制造。在参加评比的各方案中,根据专家对满足程度的评分,定出优化方案评定标准,得分最多的方案为优化方案。

§ 1-5 组合机床的发展趋向

一、提高通用部件的水平

衡量通用部件技术水平的主要标准是:品种规格齐全,动、静态性能参数先进,工艺性好,精度高和精度保持性好。

目前应注意开发适应强力铣削的大功率动力滑台,高精度镗削头和高精度滑台,以及适应中、小批生产的快调、速换动力部件和支承部件。

机械驱动的动力部件具有性能稳定,工作可靠等优点。目前,机械驱动的动力部件应用了交流变频调速电机和直流伺服电机等,使机械驱动的动力部件增添了新的竞争能力。

动力部件采用镶钢导轨(硬度可达 HRC58~60)、滚珠丝杠、静压导轨、静压轴承、齿形皮带等新结构。支承部件采用焊接结构等。由于提高了部件的精度和动、静态性能,因而使被加工的工件精度明显提高,表面粗糙度减小。

二、发展适应中、小批生产的组合机床

在机械制造工业中,中、小批生产约占 80%。在某些中批生产的企业中,如机床、阀门行业等,其关键工序采用组合机床。其中机床厂用组合机床加工主轴变速箱孔系,产品质量稳定,生产效率高,技术经济效果显著。发展具有可调、快调、装配灵活、适应多品种加工特点的组合机床十分迫切。转塔主轴箱式组合机床,可换主轴箱式组合机床以及自动换刀式数控组合机床可用于中、小批生产。但这类机床结构复杂,成本较高。

带转塔式主轴箱的组合机床,由于转塔不能制造的太大,安装的主轴箱数量有限,因此

只适应工序不多,形状不太复杂的零件加工。

图 1-9 所示为可换主轴箱式组合机床的外形,机床设有专用的贮存和更换主轴箱装置,按被加工工件工艺规程的程序从机床上卸下已用过的主轴箱,将需要的主轴箱用机械手自动装到机床的动力箱上,并使主轴箱自动定位和夹紧。主轴箱的贮存装置有环形和直线形。这种机床结构复杂,用于成组加工零件才有良好经济效果。

图 1-10 所示为自动换刀式数控组合机床的外形,贮刀库安装在转塔刀架的上方,用机械手自动更换刀具,这种机床一般用单刀加工,加工精度较高,但生产效率较低。

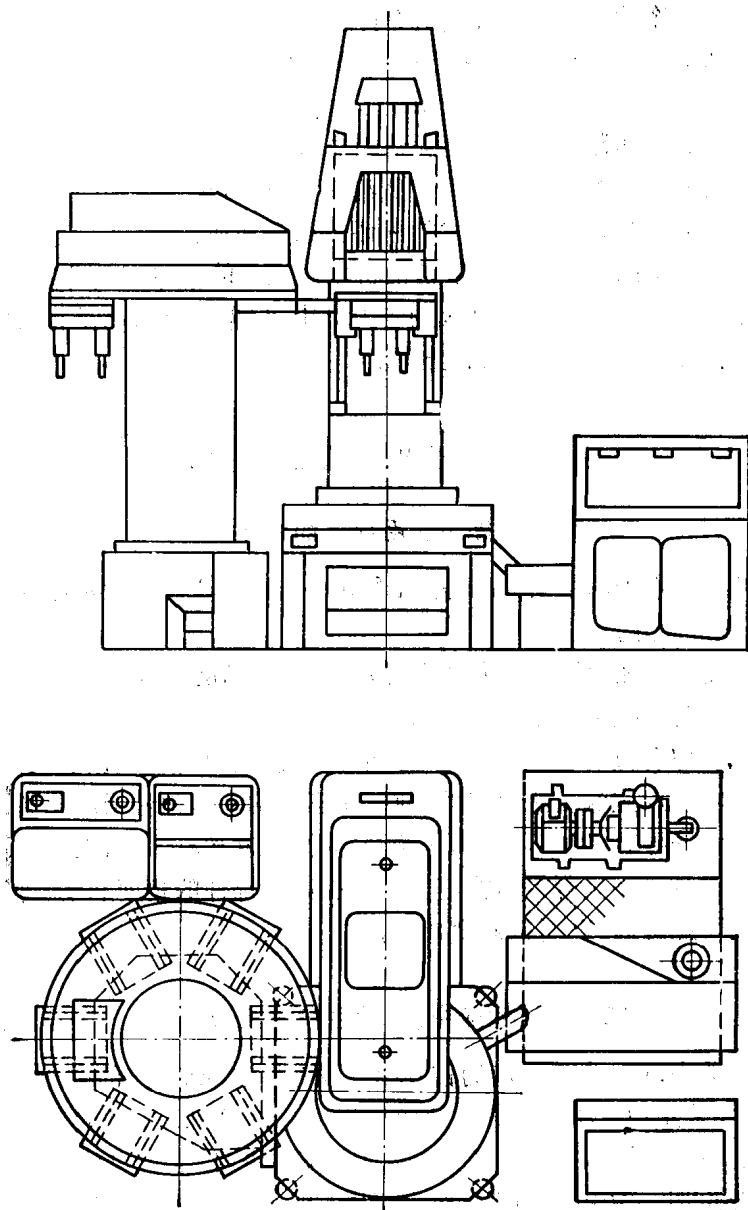


图 1-9 可换主轴箱式组合机床