

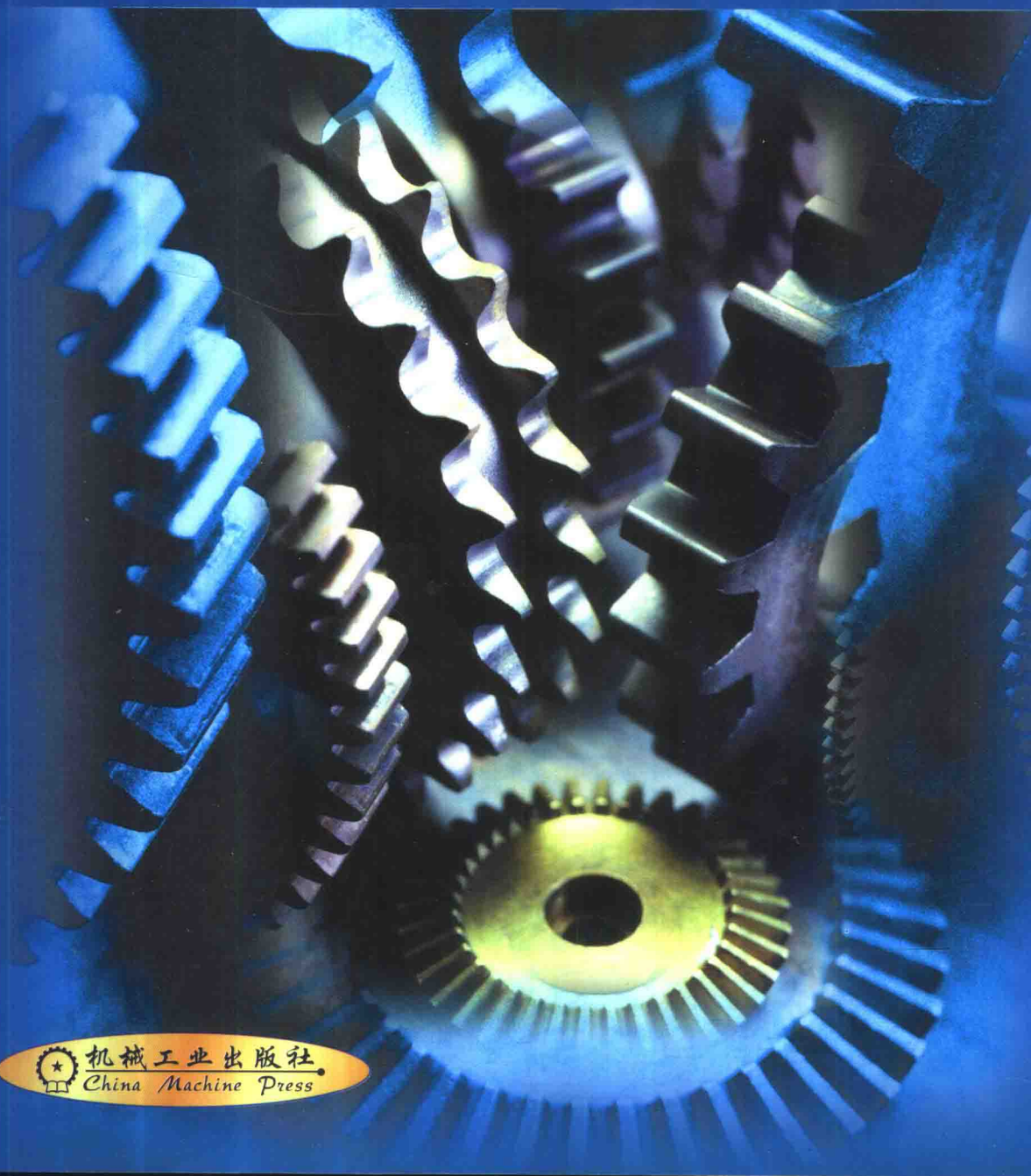


面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通高等教育机电类规划教材

机械设计

武汉理工大学 杨明忠 主编



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪课程教材
普通高等教育机电类规划教材

机 械 设 计

主 编	杨明忠		
副主编	吴昌林	荣涵锐	
参 编	王玉英	曲秀全	郝向儒
	袁 茹	王春燕	侯玉英
	杨章高	韩晓娟	
主 审	余 俊		



机 械 工 业 出 版 社

本书为普通高等教育“九五”机电类规划教材,是根据全国高校机械设计及制造专业教学指导委员会所制定的教学计划和教学大纲编写的。本书主要内容有:机械与机械零件设计概述,机械的摩擦、磨损与润滑,螺纹联接与螺旋传动,键、花键与销联接,铆接、焊接与过盈配合联接,齿轮传动、蜗杆传动,带传动与链传动,轴,滚动轴承,滑动轴承,联轴器、离合器与制动器,弹簧,机架零件,减速器。有例题和习题附在有关章节内容之后。

本书主要作为高等工科院校机械类专业机械设计基础课程的教材,也可供有关工程类专业师生和企业工程技术人员学习或参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计/杨明忠主编. --北京:机械工业出版社,
2000.12

面向21世纪课程教材 普通高等教育机电类规划教材
ISBN 7-111-07921-3

I. 机… II. 杨… III. 机械设计-高等学校-教材
IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第01972号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:邓海平 版式设计:霍永明 责任校对:吴美英
封面设计:方芬 责任印制:郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2001年4月第1版·第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·19印张·471千字
0 001—5 000册
定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

序

创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力。特别是在知识经济初见端倪的新世纪来临之际，更是如此。机械设计则是设计制造创新产品的技术基础。对工科专业，特别是对机械类专业，“机械设计”是一门培养学生具有机械设计能力的技术基础课，在机械类专业的教学计划中它是一门主要必修课程。“机械设计”课程综合应用高等数学、物理、力学、画法几何及机械制图、机械原理、机械制造基础、公差与技术测量、计算机应用基础等基础理论、工程技术和生产实践知识，使学生掌握机器中通用零部件的工作原理、设计与计算方法，结构设计与工程应用等知识，显然，它是机械类专业学生学习各类产品设计的基础。

由杨明忠、吴昌林、荣涵锐等教授撰写的普通高等教育“九五”机电类规划教材《机械设计》，为这门必修课程提供了一本新的教材。编写组成员都是年富力强、从事机械设计教学多年的教师，他们在综合各校教材优点的基础上编写出了自己的特色。该教材取材精炼，篇幅适中，符合目前教学时数的要求，保证了基础理论、基本知识和基本方法的传授，而且十分注意反映现代机械设计的发展状况。

教材编写的具体内容和要求力求贯彻全国高等学校机械设计及制造专业教学委员会有关会议决议精神，即按照教育部1998年7月新颁布的“普通高等学校本科专业目录”修订“机械设计”课程教学计划，拓宽了专业学科基础，引入了现代机械设计方法；强调创新设计，更新教学内容；加强素质教育，注重设计能力与实践能力的培养；加强有关结构设计的能力，突出创造能力培养；拓宽知识面，加强机械设计归纳与综合能力的培养与训练。

教材在编写过程中向多所院校广泛征求对该教材编写的意见和建议，得到许多院校的热情支持，他们从教材的编写大纲与编写纲要到内容与方法等各方面都提出了许多具体意见和建议。这些宝贵的意见和建议在该教材中都得到了很好的反映。

我相信这本教材对于加强工科专业（特别是机械类专业）学生的有关机械技术基础和培养他们的创新能力，将起到积极的作用。我也相信，本教材的编者也将继续听取各方面在使用本教材中所提出的建议，不断提高本教材的水平，使其在教学改革中努力起到应有的作用。

为此，谨为之序。

华中科技大学 教授 杨叔子
中国科学院 院士

2000年10月8日

前 言

本书是根据原国家教委高教司的高校“机械设计课程教学基本要求”(1995年修订版)编写的。在教材编写的具体内容和要求上,力求贯彻全国高等学校机械设计及制造专业教学委员会有关会议决议精神,即按照教育部1998年7月新颁布的“普通高等学校本科专业目录”修订“机械设计”课程教学计划。本教材作为机械类本科各专业必修的技术基础课程教材,努力拓宽了专业学科基础;引入了现代机械设计方法;强调创新设计,更新教学内容;加强素质教育,注重设计能力培养,加强有关结构设计的能力,突出创造能力培养;拓宽知识面,加强机械设计归纳与综合能力的培养与训练;并将上述精神贯穿于该课程体系、教学内容与教学方法、实验与课程设计等过程。

本书致力于培养学生掌握通用机械零件的设计原理、方法和机械设计的一般规律,具有设计一般机械的能力;树立正确的设计思想,了解国家当前的有关技术经济政策;具有运用标准、规范、手册和图册等有关技术资料的能力;掌握典型机械零件的实验方法,获得实验技能的基本训练;对机械设计的新发展有所了解。

本书编者在编写过程中广泛征求了许多院校对本教材编写的意见和建议。清华大学、西安交通大学、华中科技大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、西北工业大学、北京航空航天大学、吉林工业大学、大连理工大学、合肥工业大学、燕山大学、西安理工大学、武汉理工大学、哈尔滨建筑大学、太原重型机械学院、佳木斯工学院等校对本教材的编写大纲、编写纲要、内容和方法提出了许多宝贵的具体意见和建议。这些意见和建议在该教材的编写过程中都得到了较好的反映。

参加本书编写的有武汉理工大学杨明忠(第一章第二节、第五节和第六节,第二章)、华中科技大学吴昌林(第一章第一节,第十三章)、哈尔滨工业大学荣涵锐(第六章)、王玉英(第三章,第四章)、曲秀全(第五章,第十五章)、西安理工大学郝向儒(第七章)、西北工业大学袁茹(第八章)、太原重型机械学院王春燕(第九章,第十二章)、武汉理工大学侯玉英(第一章第三节和第四节,第十章)、杨章高(第一章第八节和第九节,第十一章)和燕山大学韩晓娟(第一章第七节,第十四章)。全书由杨明忠教授担任主编,吴昌林教授和荣涵锐教授担任副主编。本书由华中科技大学余俊教授担任主审。

限于编者的水平和学识,书中缺点、错误在所难免,衷心期待广大读者批评指正。

编 者
于武汉

目 录

序
前言

第一篇 总 论

第一章 机械与机械零件设计概述	1
第一节 机械系统的组成	1
第二节 机械设计的基本原则与一般程序	12
第三节 机械零件设计的基本要求与计算准则	16
第四节 机械零件的设计方法与一般设计程序	18
第五节 机械设计中的标准化	20
第六节 机械设计中材料的选用原则	20
第七节 机械零件的强度	22
第八节 现代机械设计方法简介	39
第九节 机械系统的方案设计	41
第二章 机械的摩擦、磨损与润滑	45
第一节 摩擦与磨损	45
第二节 润滑与润滑材料	50
第三节 机械工况的监测技术	54

第二篇 联 接 件

第三章 螺纹联接与螺旋传动	59
第一节 螺纹与螺纹联接	59
第二节 单个螺栓联接的强度计算	65
第三节 螺栓组联接的设计与提高强度的措施	70
第四节 螺旋传动	79
习题	84
第四章 键、花键与销联接	85
第一节 键联接	85
第二节 花键联接	88
第三节 销联接	91
习题	92
第五章 铆接、焊接与过盈配	

合联接	94
-----------	----

第一节 铆接	94
第二节 焊接	96
第三节 过盈配合联接	101
第四节 无键联接	108
习题	109

第三篇 传 动 件

第六章 齿轮传动	111
第一节 齿轮传动的失效形式、设计准则与材料选择	111
第二节 齿轮传动的计算载荷	115
第三节 标准直齿圆柱齿轮传动的强度计算	117
第四节 标准斜齿圆柱齿轮传动的强度计算	124
第五节 标准直齿圆锥齿轮传动的强度计算	129
第六节 齿轮的结构设计	131
第七节 齿轮传动的润滑、振动与噪声	133
习题	135
第七章 蜗杆传动	137
第一节 蜗杆传动的失效形式、设计准则与材料选择	137
第二节 普通圆柱蜗杆传动的强度计算	138
第三节 普通圆柱蜗杆传动的主要参数和几何尺寸计算	142
第四节 普通圆柱蜗杆和蜗轮的结构设计	146
第五节 圆弧圆柱蜗杆传动	148
第六节 蜗杆传动的效率、润滑及热平衡计算	152
习题	156

第八章 带传动与链传动	158
第一节 带传动的类型和工作情况 分析	158
第二节 V 带传动的设计	164
第三节 同步带传动的设计	175
第四节 链传动的类型与运动分析	181
第五节 滚子链传动的设计	186
习题	195

第四篇 轴系零、部件

第九章 轴	196
第一节 轴的类型与材料	196
第二节 轴的结构设计	199
第三节 轴的强度计算	203
第四节 轴的刚度计算与振动计算	210
习题	217
第十章 滚动轴承	218
第一节 滚动轴承的结构、类型及轴承 代号	218
第二节 滚动轴承的类型选择	224
第三节 滚动轴承的载荷、应力分析及 失效形式和计算准则	225
第四节 滚动轴承的寿命计算	227
* 第五节 滚动轴承的静负荷计算	235
* 第六节 滚动轴承的极限转速计算	236
第七节 滚动轴承部件的组合结构 设计	236
习题	243
第十一章 滑动轴承	244
第一节 滑动轴承的类型、材料与 结构	244
第二节 非液体摩擦滑动轴承的	

设计

第三节 液体摩擦动压径向滑动轴承的 设计	248
第四节 液体静压滑动轴承简介	249
习题	258
习题	259

第十二章 联轴器、离合器与

制动器	260
第一节 联轴器	260
第二节 离合器	268
第三节 制动器	272

第五篇 其他零、部件

第十三章 弹簧设计	274
第一节 概述	274
第二节 圆柱拉、压螺旋弹簧的设计	274
第三节 板弹簧的设计	281
第四节 碟形弹簧	282
第五节 其他类型弹簧	283
习题	284
第十四章 机架零件	285
第一节 机架的类型和材料	285
第二节 机架的剖面形状和肋板布置	286
第三节 机架的设计概要	287
第十五章 减速器	289
第一节 常用减速器的类型特点与 应用	289
第二节 减速器的主要参数与传动比的 分配	292
第三节 减速器的结构和润滑	294
习题	297
参考文献	298

第一篇 总 论

第一章 机械与机械零件设计概述

第一节 机械系统的组成

任何机器都是由原动机、传动装置及工作机三部分组成。现代机械种类繁多，但从实现其功能的角度看，仍可以主要归纳为以下的子系统：动力系统、传动系统、执行系统、操纵系统和控制系统，如图 1-1 所示。

动力系统是指动力机（或原动机）及其配套装置，是给机械系统提供动力、实现能量转换的部分。其中，一次动力机是将自然界能源（一次能源）直接转化为机械能，有水轮机、汽轮机和内燃机等。二次动力机则将二次能源（电能、液能、气能）转化为机械能，有电动机、液压马达、气动马达等。动力机输出的运动以转动为主，也有直线运动（如直线运动电动机、液压缸、汽缸等）。

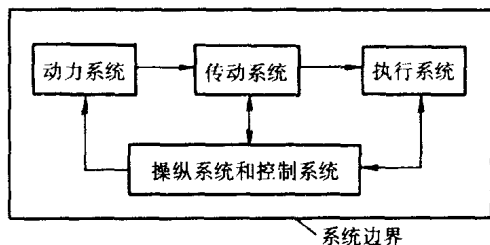


图 1-1 机械系统的组成

传动系统是将动力机的动力和运动传递给执行系统的中间装置。它的主要功能是：①减速或增速，即把动力机的输出速度降低或增高后传递给执行系统；②变速，即实现有级或无级的变速，将多种速度提供给执行系统；③传递动力，即传递速度的同时将动力机的动力传递给执行系统；④按工作要求，改变运动规律，将连续的匀速旋转运动改变为按某种规律变化的旋转、非旋转的其他运动；⑤实现由一个或多个动力机驱动若干个相同或不相同速度的驱动机构。

执行系统包括执行机构或工作机，它们是利用机械能来改变作业对象的性质、状态、形状或位置，或对作业对象进行检测、度量等以进行生产或达到其他预定要求的装置。执行系统一般处于机械系统的末端，直接与作业对象接触，因此其输出也是整个机械系统的主要输出。

控制系统是指通过人工操作或测量元件获取的控制信号，经由控制器，使控制对象改变其工作参数或运行状态的装置。如各类伺服机构、自动控制装置等。

传统意义上的“动力机→传动装置→工作机”形式的机械系统，主要着眼于运动和动力的流动；现代机械系统，则更注重信息的流动和控制。

一、动力机

（一）动力机的种类

动力机是驱动执行机构运动的机械，又称为原动机。本节仅介绍几种常用的动力机，包括电动机、液压马达、气动马达和内燃机。

1. 电动机

电动机是一种将电能转变成旋转机械能的能量转换装置，是最常用的动力机。按不同的使用电源，可分为交流电动机和直流电动机两大类。交流电动机根据电动机的转速与旋转磁场的转速是否相同，又可分为同步电动机和异步电动机两种。直流电动机则根据励磁方式分为他励、并励、串励、复励等形式。

(1) 三相异步电动机 三相异步电动机使用三相交流电源，是生产中广泛使用的一种电动机，它的品种很多，主要分类如下：

1) 按转子结构形式分类 根据转子的结构形式，三相异步电动机分为笼型异步电动机和绕线型转子电动机。笼型异步电动机结构简单、耐用、易维护、价格低、特性硬，但启动和调速性能差，轻载时功率因数较低，广泛用于无调速要求的机械。对于可变换定子极数的变速笼型异步电动机，可用于小功率的分级变速传动（双速、三速、四速），但体积较大，价格较贵。绕线型转子电动机结构较复杂、维护较麻烦、价格稍贵，但启动转矩大，启动时功率因数较高，可进行小范围调速，且调速控制简单，广泛用于启动次数较多、启动负载较大或小范围调速的机械，如提升机、起重机及轧钢机械等。

2) 按外壳结构形式分类 根据外壳结构形式的不同，三相异步电动机可分为开启式、防护式、封闭式和防爆式。外壳结构形式不同，则电动机的防护能力也不同。

开启式电动机的外壳无专门的防护机构，水滴、灰尘等杂物极易侵入电动机内部，但其散热性能好，适用于洁净、干燥的室内环境。防护式电动机能防止各类杂物从上方落入电动机内部，适用于较清洁的环境。封闭式电动机能防止各类杂物从任意方向进入电动机内部，适用于灰尘、风沙较多的环境。防爆式电动机系全封闭型，不仅能防止各类杂物进入电动机内部，还能防止电动机内部的爆炸气体传到外部，用于有可燃性气体或易引起爆炸危险的场所及井下等特殊环境。

3) 按安装形式分类 按不同的安装形式，三相异步电动机可分为立式、卧式及机座有底脚或端盖有凸缘或既有底脚又有凸缘等形式，以适应各种不同的安装需要。

此外，还有齿轮减速异步电动机、电磁调速异步电动机、异步整流子变速电动机等多种类型。

(2) 直流电动机 直流电动机需使用直流电源。与交流电动机相比，它具有调速性能好，调速范围宽，启动转矩大等特点。直流电动机的铭牌数据有额定功率 P_N 、额定电压 U_N 、额定电流 I_N 、额定转速 n_N 、励磁电压 U_f 、励磁电流 I_f 和励磁方式等。

(3) 同步电动机 同步电动机是一种用交流电流励磁建立旋转的电枢磁场，用直流电流励磁构成旋转的转子磁极，依靠电磁力的作用，旋转磁场牵着旋转磁极同步旋转的电动机。同步电动机自己不能启动，必须采用某种方法使其启动。目前大多数采用异步启动法，即先使电动机在异步转矩作用下转动起来，当转速接近同步转速时，再给转子励磁绕组通以直流电流，使转子建立旋转磁极，于是，旋转磁场紧紧地牵引着转子同步旋转。同步电动机的最大优点是：能在功率因数 $\cos\phi=1$ 的状态下运行，不需从电网吸收无功功率。改变转子励磁电流大小，可调节无功功率大小，从而改善电网的功率因数。因此，不少长期连续工作而需保持转速不变的大型机械，如大功率离心式水泵和通风机等常采用同步电动机作为原动机。但同

步电动机的结构较异步电动机复杂，造价较高，而且其转速是不能调节的。

机械产品除了常用上面介绍的几种电动机外，还有一种单相异步电动机，使用单相交流电源供电。这种电动机的效率和功率因数较低，过载能力较差，容量很少超过 0.6kW，故只适用于小型机械设备和家用电器。

2. 液压马达

液压马达是把液压能转变成旋转机械能的一种能量转换装置。液压马达按输出转矩的大小和转速高低可以分为两类：一类是高速、小转矩液压马达，转速范围一般在 300~3000r/min 或更高，转矩在几百牛·米以下；另一类是低速、大转矩液压马达，转速一般低于 300r/min，转矩为几百至几万牛·米。

高速、小转矩液压马达多采用齿轮式、叶片式和轴向柱塞式等结构形式；而低速、大转矩液压马达常采用径向柱塞式以及非圆齿轮式。

3. 气动马达

气动马达的作用类同于液压传动中的液压马达，它以压缩空气为动力输出转矩，驱动执行机构作旋转运动。气动马达按工作原理可分为容积式和透平式两大类。

4. 内燃机

内燃机是指燃料在汽缸内部进行燃烧，直接将产生的气体（即工质）所含的热能转变为机械能的机械。内燃机按其主要运动机构的不同，分为往复式内燃机和旋转式内燃机两大类。

目前普遍采用的是往复式内燃机，其分类如下：

- (1) 按燃料种类 可分为柴油机、汽油机、煤气机。
- (2) 按一个工作循环的冲程数 可分为四冲程内燃机、二冲程内燃机。
- (3) 按燃料点火方式 可分为压燃式内燃机、点燃式内燃机。
- (4) 按冷却方式 可分为水冷式内燃机、风冷式内燃机。
- (5) 按进气方式 可分为自然吸气式内燃机、增压式内燃机。
- (6) 按汽缸数目 可分为单缸内燃机、多缸内燃机。
- (7) 按汽缸排列方式 可分为直列式内燃机、V 形内燃机、卧式内燃机、对置汽缸内燃机。
- (8) 按转速或活塞平均速度 可分为高速内燃机（标定转速高于 1000r/min 或活塞平均速度高于 9m/s）、中速内燃机（标定转速为 600~1000r/min 或活塞平均速度为 6~9m/s）、低速内燃机（标定转速低于 600r/min 或活塞平均速度低于 6m/s）。
- (9) 按用途 可分为农用、汽车用、工程机械用、拖拉机用、铁路用、船用及发电用内燃机。

内燃机是一种较为复杂的机械，由许多分系统组成，各类内燃机的组成和结构不尽相同，即使同一类型的内燃机，各分系统的具体构造也有所差别。但从各类内燃机的总体构造而言，主要包括机体、曲柄滑块机构、配气机构、燃油供给系统、点火系统、润滑系统、冷却系统及启动装置等部分。对于柴油机，为提高其功率常采用增压器，以提高进入汽缸的空气压力，增加空气密度，使汽缸内可以燃烧较多的燃油。因此，对增压式柴油机还须有增压系统。

(二) 动力机的选用

在设计机械系统时，选用何种形式的动力机，主要应从以下方面进行分析比较：

- 1) 分析工作机械的负载特性和要求，包括工作机械的载荷特性、工作制度、结构布置和

工作环境等；

2) 分析动力机本身的机械特性，包括动力机的功率、转矩、转速等特性，以及动力机所能适应的工作环境。应使动力机的机械特性与工作机械的负载特性相匹配；

3) 进行经济性的分析，当同时可用多种类型的动力机进行驱动时，经济性的分析是必不可少的，包括能源的供应和消耗，动力机的制造、运行和维修成本的对比等。

有时还要考虑对环境的污染，其中包括空气污染和噪声污染等。例如，室内工作的机械使用内燃机作为动力机就不很合适。

使用电动机作为动力机时，具有以下优点：较其他动力机有较高的驱动效率，与被驱动的工作机械联接方便，并具有各种运行特性，可满足不同类型机械的工作要求。电动机还具有良好的调速性能，启动、制动、反向和调速的控制简便，可以实现远距离的测量和控制，便于集中管理和实现生产过程的自动化，对环境的污染少等。但使用电动机必须具备相应的电源，对野外工作的机械及移动式机械常因缺乏电源而不能选用。

使用液压马达作为动力机时，可以获得很大的机械力或转矩，与电动机相比在相同功率时的外形尺寸小、重量轻，因而运动件的惯性小、快速响应的灵敏度高。液压马达可以通过改变流量来调节执行机构的速度，传动比较大，低速性能好，容易实现无级调速，操作和控制都比较简便，易于实现复杂工艺过程的动作并满足其性能要求。但使用液压马达必须具有高压油的供给系统，应使液压系统元件有必要的制造和装配精度，否则容易泄漏。这不仅影响工作效率，而且还影响工作机械的运动精度。

使用气动马达作为动力机时，与液压马达相比较，因用空气作为工作介质，容易获得，用后的空气可直接排入大气而无污染，压缩空气还可以进行集中供给和远程输送。气动马达动作迅速、反应快、维护简单、成本比较低，对易燃、易爆、多尘和振动等恶劣工作环境的适应性较好。但因空气具有可压缩性，因此气动马达的工作稳定性差，气动系统的噪声较大，又因工作压力较低，输出的转矩不可能很大，一般只适用于小型和轻型的工作机械。

使用内燃机作为动力机时，具有功率范围宽，操作简便，启动迅速和便于移动等优点，大多用于野外作业的工程机械、农用机械以及船舶、车辆等。其主要缺点是：需要柴油或汽油作为燃料，通常对燃料的要求也比较高，特别是高速内燃机需要使用洁净度高的汽油和轻质柴油；内燃机的排气污染和噪声都较大，在结构上也比较复杂，而且对零部件的加工精度要求较高。

根据上述各类动力机的特点，选择时可进行各种方案的比较，首先确定动力机的类型，然后根据工作机械的负载特性计算动力机的容量。有时也可先预选动力机，在产品的设计出来后再进行校核。

动力机的容量通常是指其功率的大小。动力机的功率 P (kW) 与它的转矩 T (N·m) 和转速 n (r/min) 之间的关系为

$$P = \frac{Tn}{9550} \quad \text{或} \quad T = 9550 \frac{P}{n}$$

动力机的容量一般是由负载所需的功率或转矩确定的，动力机的转速是与动力机至工作机械之间的传动方案选择有关。当具有变速装置时，动力机转速可高于或低于工作机械的转速。

二、传动系统

传动系统是处于动力机和执行机构之间的中间装置。一般，以传递动力为主的传动称为

动力传动，以传递运动为主的传动称为运动传动。

(一) 传动系统的组成

传动系统通常由传动部分、操纵部分及相应的辅助部分组成。

(1) 传动部分 由各种传动元件或部件如轴及轴系、制动、离合、换向和蓄能元件组成，以实现动力和运动的传递。

(2) 操纵部分 由具有启动、离合、制动、调速、换向等机能的操纵装置，通过手动或电动方式进行操作，以改变动力机或传动系统的工作状态和参数，使执行机构保持或改变其运动和力。

(3) 辅助部分 为保证传动系统的正常工作，改善工作条件，延长使用寿命而设的装置，如冷却、润滑、计数、照明、消声、防振和除尘等装置。

(二) 传动的类型

现代机械系统的传动装置可按以下几种方式分类：①按传动的工作原理分类（见表 1-1）；②按传动比变化情况分类（见表 1-2）；③按传动输出速度变化情况分类（见表 1-3）。

表 1-1 按传动的工作原理分类

传 动 类 型			说 明
机 械 传 动	摩 擦 传 动	摩擦轮传动	圆柱形，槽形，圆锥形，圆柱圆盘式
		挠性摩擦传动	带传动：V 带（普通 V 带、窄 V 带、大楔角 V 带、特殊用途 V 带）、平带，多楔带，圆带 绳及钢丝绳传动
		摩擦式无级变速传动	定轴的（无中间体的、有中间体的） 动轴的 有挠性元件的
	啮 合 传 动	圆 柱 齿 轮 传 动	啮合形式：内、外啮合，齿条 齿形曲线：渐开线，单、双圆弧，摆线 齿向曲线：直齿，螺旋（斜）齿，曲线齿
			啮合形式：外、内啮合，平顶及平面齿轮 齿形曲线：渐开线，单、双圆弧 齿向曲线：直齿，斜齿，弧线齿
			渐开线齿轮行星传动（单自由度、多自由度） 摆线针轮行星传动 谐波传动（三角形齿、渐开线齿）
		非圆齿轮传动	可实现主、从动轴间传动比按周期性变化的函数关系
		章动传动	一种大传动比、高效率、低噪声的互包络线结构
		蜗 杆 传 动	按形成原理： 普通圆柱蜗杆传动（阿基米德、渐开线、法向直廓、锥面包络蜗杆） 圆弧圆柱蜗杆传动（轴面、法面圆弧齿，锥面、环面包络的圆柱蜗杆）
			直廓环面蜗杆传动 平面包络环面蜗杆传动（平面一次包络、平面二次包络蜗杆）
		锥蜗杆	
	挠性啮合传动		链传动：套筒滚子链，套筒链，弯板链，齿形链 带传动：同步带

(续)

传 动 类 型		说 明
机 械 传 动	啮合	螺旋传动 摩擦形式：滑动、滚动、静压 头数：单头、多头
	连杆机构	曲柄摇杆机构（包括脉动无级变速器）、双曲柄机构、曲柄滑块机构、曲柄导杆机构、液压缸驱动的连杆机构
	凸轮机构	直动和摆动从动件的，反凸轮机构，凸轮式无级变速器
	组合机构	齿轮-连杆，齿轮-凸轮，凸轮-连杆，液压连杆系统
流 体 传 动	气压传动	运动形式：往复移动，往复摆动，旋转 速度变化：恒速，有级变速，无级变速
	液压传动	
	液力传动	液力变矩器 液力耦合器
	液体粘性传动	与多片摩擦离合器相似，借改变摩擦片间的油膜厚度与压力，以改变油膜的剪切力进行无级变速传动
电 力 传 动	交流电力传动	恒速，可调速（电磁滑差离合器、调压、串级、变频、无换向器电动机等）
	直流电力传动	恒速，可调速（调磁通、调压、复合调速）
磁 力 传 动		可透过隔离物传动：磁吸引式，蜗流式 不可透过隔离物传动：磁滞式，磁粉离合器

表 1-2 按传动比变化情况分类

传动分类		说 明	传动 举 例
定传动比传动		输入与输出转速对应，适用于工作机工况固定，或其工况与动力机工况对应变化的场合	带、链、摩擦轮传动，齿轮、蜗杆、章动传动
变 传 动 比	有级调速	一个输入转速对应若干个输出转速，且按某种数列排列，适用于动力机工况固定而工作机有若干种工况的场合，或用来扩大动力机的调速范围	齿轮变速箱、塔轮传动
	无级调速	一个输入转速对应于某一范围内无限多个输出转速，适用于工作机工况极多或最佳工况不明确的情况	各种机械无级变速器、液力耦合器及变矩器、电磁滑差离合器、流体粘性传动
	按周期性	输出角速度是输入角速度的周期性函数，用来实现函数传动及改善某些机构的动力特性	非圆齿轮、凸轮、连杆机构、组合机构

（三）传动的选择

传动类型的选择关系到整个机器的运动方案设计和工作性能参数。技术经济指标是确定传动方案的主要因素，只有对各种传动方案的技术经济指标作细致的综合分析和对比，才能较合理地选用传动的类型。

1. 传动类型选择的依据

选择传动类型时，应综合考虑下列条件：①工作机的工况；②动力机的机械特性和调速性能；③对传动的尺寸、重量和布置方案方面的要求；④工作环境。如对多尘、高温、低温、潮湿、腐蚀、易燃、易爆等恶劣环境的适应性，噪声的限度等；⑤经济性。如工作寿命和传动效率、初始费用、运转费用、维修费用等；⑥操作方法和控制方式；⑦其他要求。如国家

的技术政策（材料的选用、标准化和系列化等）、现场的技术条件（能源、制造能力等）、环境保护等。

表 1-3 按传动输出速度变化情况分类

传动传输速度	动力机输出速度	传 动 举 例
恒定	恒定	齿轮、蜗杆、带、链、摩擦轮、螺旋、章动传动, 不调速的电力、液压及气压传动
可 调	有级调速	塔轮传动、齿轮变速箱、三轴滑移公用齿轮变速箱
		电力、液压传动中的有级调速传动
	无级调速	机械无级变速器、液力耦合器及变矩器、电磁滑差离合器、流体粘性传动
		内燃机调速、电力、液压及气压无级调速传动; 加或不加变传动比传动
	按某种 周期	非圆齿轮、凸轮、连杆机构、组合机构
		数控的电力传动

上述条件有时是相互矛盾的, 不能全部得到满足。应该根据具体情况, 全面地分析考虑, 在满足机器主要功能的条件下, 本着适用、经济、美观的原则, 通过进行技术、经济等方面的评价, 给以恰当解决。

2. 选择的基本原则

1) 小功率传动, 应在满足工作性能的要求下, 选用结构简单的传动装置, 尽可能降低初始费用;

2) 大功率传动, 应优先考虑传动装置的效率, 以节约能源, 降低运转和维修费用;

3) 当工作机要求变速时, 若能与动力机调速比相适应, 可直接联接或采用定传动比传动装置; 当工作机要求变速范围大, 用动力机调速不能满足机械特性和经济性要求时, 则应采用变传动比传动。除工作机需要连续变速者外, 尽量采用有级变速传动;

4) 当载荷变化频繁, 且可能出现过载时, 应考虑过载保护装置;

5) 当工作机要求与动力机同步时, 应采用无滑动的传动装置;

6) 传动装置的选用必须与制造技术水平相适应, 应尽可能选用专业厂生产的标准传动元件。

3. 定传动比传动的选择

定传动比传动主要采用机械传动装置。具体选择时, 应考虑以下因素:

(1) 功率及转速 选择传动类型时, 首先应考虑能否实现所传递的功率及运转速度, 当功率小于 100kW 时, 各种传动类型都可以选用。

(2) 传动效率 对于大功率传动, 应优先选用效率高的传动。齿轮传动的效率较高, 但与其设计参数、制造及安装精度和润滑情况有关。

(3) 传动比范围 各种传动类型在单级传动时的最大传动比是选择传动类型的重要依据之一。单级传动不能满足传动比要求时, 可采用多级传动, 效率相应降低。但单级蜗杆传动的效率往往低于传动比相同的多级齿轮传动。所以, 当传动类型不同时, 单级传动和多级传动的效率需要进行方案比较, 以便选择既满足传动比要求效率又较高的传动方案。

(4) 传动方式 对于大传动比传动, 可采用行星齿轮传动, 其外廓尺寸小, 重量轻, 效率高, 能传递大功率, 但制造精度要求较高, 装配也较复杂。蜗杆传动结构较简单, 传动比大, 但效率较低。谐波传动、摆线针轮传动和渐开线少齿差行星传动所能传递的功率较小。

(5) 结构尺寸 当传动要求尺寸紧凑时,应优先选用齿轮传动。当传动比较大且又要求尺寸紧凑时,可考虑选用行星齿轮传动、蜗杆传动;

(6) 安装布置 当主、从动轴平行时,可选用带、链或圆柱齿轮传动。当主、从动轴间距离大,或主动轴需同时驱动多根距离较大的平行轴时,则可选用带或链传动;当同时还要求同步时,则应选用链传动或齿轮传动。按两轴的位置,当要求两轴在同一轴线上时,可选用双级、多级齿轮传动或行星齿轮传动。当两轴相交时,可选用圆锥齿轮传动或圆锥摩擦轮传动。当两轴交错时,可选用蜗杆传动或螺旋齿轮传动。

4. 有级变速传动的选择

有级变速传动常采用直齿圆柱齿轮变速装置,因为圆柱齿轮换档方便。采用有级变速传动主要有两种情况:

1) 当执行机构要求有多档固定转速,而动力机是非调速的时,采用有级变速传动系统可适应执行机构的多档速度要求;

2) 当执行机构要求有较大的变速范围时,可采用有级变速传动和调速动力机联合调速的方法,以实现执行机构的大范围变速要求。

5. 无级变速传动的选择

机械传动、流体传动和电力传动都能实现无级变速。机械无级变速传动结构简单,传动平稳,维修方便,但寿命较短,通常用于较小功率传动。液压无级调速装置的尺寸小、重量轻。气压无级调速装置多用于小功率传动和各种恶劣环境。电力无级调速传动的功率范围大,容易实现自控和遥控,而且能远距离传递动力。

三、执行系统

直接用来完成各种工艺动作或生产过程的机构称为执行机构(或称工作机构)。机器的执行机构是根据工艺过程的功能要求而设计的。实现某一工艺过程往往需要多种运动,并且同一种工艺过程的运动方案又是多种多样的,这些方案将从根本上影响着机器的性能、结构、尺寸、重量及使用效果等。所以,执行机构的运动设计是一部机器设计的关键问题之一。

现以牛头刨床为例,论述执行机构运动设计的一些基本问题。

图 1-2 为牛头刨床的运动简图,其执行机构包括驱动滑枕 3 作直线往复运动的机构和工作台 4 的横向进给机构。

由图 1-3 可知,如要刨削工件的某一平面,必须有刨刀的切削运动和工件的进给运动才能完成。为提高刨刀寿命和刨削加工平面的质量,刨刀在工作行程时的切削速度应尽可能均匀;为提高刨床的生产率,刨刀在空回行程时的速度应尽可能快些。这一运动要求是通过具有急回性质的摆动导杆机构来实现的。

为刨削整个平面,要求当刨刀每刨削一次时,工件必须间歇地作一次横向进给。这一运动是通过曲柄摇杆机构、棘轮机构和螺旋机构适当组合起来完成的。同时,刨刀的切削运动和工件的横向进给运动必须协调一致,才能准确地

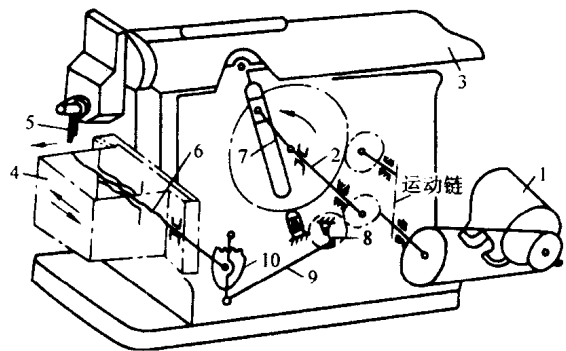


图 1-2 牛头刨床的运动简图

- 1—电动机 2—主导轴 3—滑枕 4—工作台
5—刨刀 6—丝杠 7—主曲柄 8—曲柄
9—连杆 10—棘轮

实现刨削工艺的要求。为此，应在刨刀切入工件之前，要求工件进给一次，即要求将两个独立动作的执行机构有机地联系起来，做到互相协调。否则，如果刨刀正在切削，工件就进给，必然发生打刀现象，甚至造成机床损坏事故。因此，为使这两部分执行机构的动作协调一致，设计时应绘制动作协调图，如图 1-4 所示。即通过主导轴 2（见图 1-2）将导杆机构的主曲柄 7 和驱动横向进给机构的曲柄 8 联系起来。主导轴旋转一周，刨刀往复运动一次，完成一个工作循环，同时要求工件在刨刀回程接近终了时再进给一次。这种动作协调图称为机器执行机构的运动循环图。

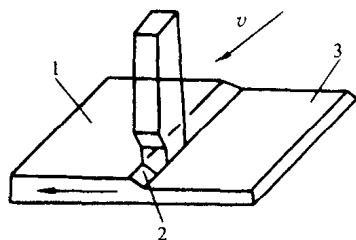


图 1-3 刨削平面的工艺要求

1—待加工平面 2—加工平面 3—已加工平面

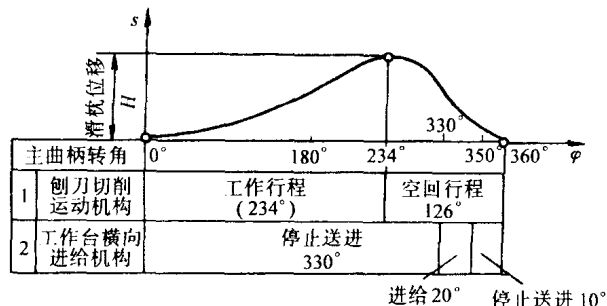


图 1-4 牛头刨床的运动循环图

综上所述，机器执行机构运动设计的基本问题，可归纳为以下三个方面：

(1) 确定执行机构的运动方案 根据工艺过程的要求，分析机器所必须完成的各种工艺动作，并把这些动作分解为若干基本运动。如周期性的往复运动；间歇的或连续的、等速或变速的转动；一定范围内的往复摆动；或由多种简单运动组成的复合运动以及实现某一轨迹的运动等等。这些基本运动的分解可有多种不同方案，只有对生产过程或工艺动作进行深刻的分析，才能比较正确地掌握工艺过程的规律性和目的性，制定出切实可行的运动方案。

(2) 合理地选择执行机构的类型 为实现需要完成的基本运动，必须合理地选择执行机构的类型，并进行机构类型的综合，这是机器执行机构运动设计非常重要的一个环节。机构类型的选择没有一定的模式，必须在认真调查研究和反复实践的基础上，并对各种典型机构的性能和应用场合有充分了解的基础上，才可能在多种机构方案中选择较合适的方案。比较机构方案时，不仅要满足运动学和动力学的要求，而且还应考虑到制造的难易程度、成本的高低、操作方便与否、是否安全可靠、传动平稳性如何等。

(3) 绘制运动循环图 对于需要实现多种工艺动作的机器来说，为使各个执行机构的基本运动互相协调一致，以保证准确地实现生产过程或工艺动作的要求，设计时必须绘制机器执行机构的运动循环图，即用图表的方式表示机器工作的循环过程以及执行机构在循环各阶段中的相对位置和它们在时间方面的协调关系。应该指出，有些机器执行机构之间的运动关系如无需严格配合与协调，就不需要绘制运动循环图。

现以单机驱动的牛头刨床为例，说明绘制机器运动循环图的任务与要求。

当用单机驱动多个执行机构时，其中必有一个主体机构。所谓主体机构，是指机器中执行主要工作任务的执行机构，是由该机器的工艺要求确定的。如牛头刨床驱动滑枕的摆动导杆机构即为主体机构。

机器中各执行机构都有各自的运动循环，机器的工作循环是按主体机构的原动件转数来计量的。通常机器的一个工作循环等于主体机构的一个运动循环（或若干个运动循环）。如牛

头刨床是以摆动导杆机构的主曲柄 7 每转一周完成一次刨削运动为一个工作循环。机器工作循环的延续时间从主体机构的原始位置算起。为使所有执行机构的相对运动均为周期性的循环运动，一般取机器中主体机构的运动循环时间等于其他执行机构运动循环时间的整数倍。

由实践可知，一个执行机构的运动循环，通常包括三个阶段，即工作行程阶段、空回阶段和停歇阶段。

在执行机构的运动设计中，绘制运动循环图的任务主要是：拟定各执行机构的运动循环以及主体机构运动循环之间的协调和配合关系。一部机器运动循环图的绘制，通常是以主体机构的位移曲线（ $s-\phi$ 曲线）为基础，取主体机构的原动件在一个运动循环内的转角 ϕ （或时间 t ）为横坐标，从动件的位移 s 为纵坐标。如牛头刨床的运动循环图（图 1-4）是以主曲柄 7 的转角 $\phi=360^\circ$ 为横坐标，滑枕的行程 H 为纵坐标绘制滑枕的位移曲线，并在此基础上列出刨刀切削运动机构和工作台横向进给机构的运动循环及其相互协调的配合关系：

1) 当主曲柄 7 旋转 360° 时，刨刀完成一次切削运动。其中刨刀工作行程对应的转角为 $\phi_{11}=0^\circ\sim 234^\circ$ ，刨刀空回行程对应的转角为 $\phi_{12}=234^\circ\sim 360^\circ$ 。刨刀的工作行程 H 即滑枕的位移。

2) 当刨刀空回行程即将结束，而下一次工作循环尚未开始时，工作台作进给运动，其对应于主曲柄 7 的转角为 $\phi_{11}=330^\circ\sim 350^\circ$ 。

3) 在刨刀切削行程（工作行程）和空回行程的大部分时间内，工作台静止不动，这时，对应于主曲柄 7 的转角为 $\phi_{12}=360^\circ-\phi_{11}$ 。

由此可知，机器执行机构的运动循环图，既要表达出各执行机构在机器一个工作循环期间的运动状况，又要表达出各执行机构之间的相对运动关系，即主体机构与其他执行机构之间的协调和配合关系。设计时，应在运动循环图中准确地表示出来，并落实到机器装配工作图上。如果各执行机构的原动件（曲柄或凸轮等）与分配轴采用键联接，则在各零件工作图上要标注出键槽的相对位置，以保证正确的安装方位。

四、控制系统

任何一个机械系统在其运行过程中，各执行机构都按要求以一定的顺序和规律动作。在受控的机械系统中，执行机构运动的开始、结束及运动规律都由控制系统保证。

机械控制系统一般要控制使各执行机构按要求的运动方向和速度以一定的顺序和规律实现运动，完成给定的作业循环，有时还要求对产品进行检测、预测、预报事故、报警及消除故障等。

（一）控制系统及其组成

图 1-5 为操作工人操纵机床加工异形曲面元件的操纵示意图。这个操作过程就是控制过程。在加工中，操作者不断用眼观测刀具相对异形工件廓线的距离，得到两者之间的差异（反馈信号），根据这个差值的大小用两手同时操作 x 、 y 方向的手柄进行切削，以减小这个差值。因此，这里人工控制的过程实际上是不断检测、反馈、纠偏的过程，即由人的眼、脑、手和机床、刀具共同组成了一个控制系统。

对于结构比较复杂、响应速度及控制精度要求较

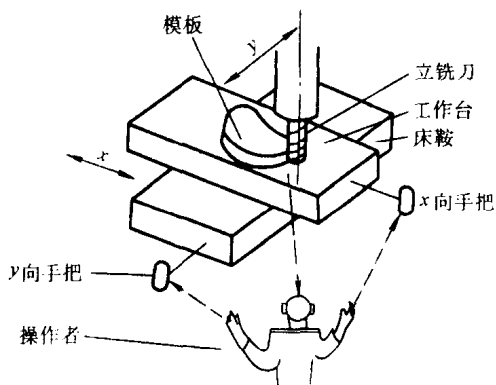


图 1-5 人工控制示意图