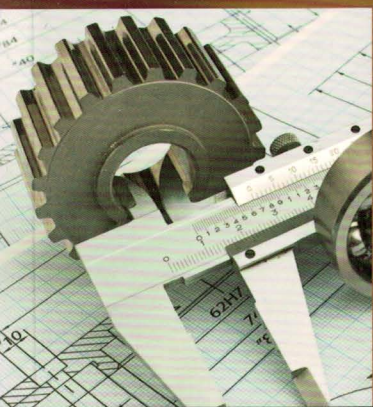


普通高等教育“十三五”规划教材

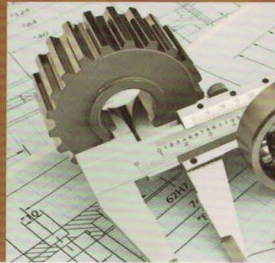


Course Design of Mechanical Principle

机械原理课程设计

郑树琴 © 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



Course Design of Mechanical Principle

普通高等教育“十三五”规划教材

机械原理课程设计

主编 郑树琴

参编 洪业 李秀春 李峰 常艳红



机械工业出版社

本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会 2015 年颁布的《机械原理课程教学基本要求》，结合老师们多年的教学实践，为满足机械原理课程设计的需要而编写的。

本书共分 6 章。第 1 章主要介绍机械原理课程设计的意义、目的、设计内容、方法和要求等；第 2 章主要介绍机械系统运动方案与创新设计的基本理论、方法和步骤；第 3 章~第 5 章重点介绍平面连杆机构的分析及其综合、凸轮机构的分析与设计、齿轮机构的分析与设计；第 6 章是机械原理课程设计题目。附录是设计图例。

本书可作为高等学校机械类、近机械类专业机械原理课程设计的教材，也可作为有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械原理课程设计/郑树琴主编. —北京: 机械工业出版社, 2018. 8
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-111-60846-2

I. ①机… II. ①郑… III. ①机械原理-课程设计-高等学校-教材
IV. ①TH111

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 207698 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: 余 焯 责任编辑: 余 焯 王 良

责任校对: 王 延 封面设计: 张 静

责任印制: 李 昂

北京京丰印刷厂印刷

2018 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·6.25 印张·145 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-60846-2

定价: 19.80 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

服务咨询热线: 010-88379833

读者购书热线: 010-88379649

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械原理课程设计是高等学校机械类、近机械类各专业学生在完成了机械原理课程学习后进行的一项非常重要的实践性教学环节。本书是根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会 2015 年颁布的《机械原理课程教学基本要求》，总结老师们多年的教学实践经验，为满足机械原理课程设计的需要而编写的，是为提高学生的机械系统运动方案设计、创新设计及解决工程实际问题的能力服务的。

本书在编写过程中通过总结多年的教学改革实践与指导学生参加全国大学生机械设计创新大赛的经验，力求内容简明，重点突出，避免与机械原理课程教材内容有过多的重复，有针对性地指导学生顺利地进行课程设计。本书具有非常强的实用性。

参加本书编写的人员均为太原理工大学的教师，全书由郑树琴任主编。参加编写的人员及分工如下：郑树琴编写第 1 章；洪业编写第 3 章、5 章及附录；李秀春编写第 2 章；李峰编写第 4 章；常艳红编写第 6 章。

本书在编写过程中得到了太原理工大学机械原理教研室全体教师的大力支持和帮助，在此深表感谢。

尽管我们努力将本书打造成精品，但由于编者水平有限，书中的错误和不足在所难免，恳请广大读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

目 录

前 言		
第 1 章 概述	1	
1.1 机械原理课程设计的意义和目的	1	
1.2 机械原理课程设计的内容和任务	2	
1.3 机械原理课程设计的方法和要求	2	
1.4 机械原理课程设计的教学进度和成绩评定	5	
第 2 章 机械系统运动方案与创新设计	6	
2.1 机械系统运动方案设计	6	
2.2 机构的创新	15	
第 3 章 平面连杆机构的分析及其综合	26	
3.1 用图解法进行平面连杆机构的运动分析	26	
3.2 按给定的行程速度变化系数综合平面连杆机构	32	
3.3 不考虑摩擦时平面连杆机构的动态静力分析	36	
第 4 章 凸轮机构的分析与设计	42	
4.1 凸轮机构类型及从动件运动规律确定	42	
4.2 凸轮机构的图解法设计	46	
4.3 凸轮机构的解析法设计	54	
第 5 章 齿轮机构的分析与设计	58	
5.1 齿轮传动设计计算方法及公式	58	
5.2 齿轮啮合图的绘制	62	
第 6 章 机械原理课程设计题目	65	
6.1 牛头刨床	65	
6.2 插床	70	
6.3 压力机	74	
6.4 单缸四冲程柴油机	78	
6.5 螺钉搓床	83	
6.6 活塞式压缩机	85	
附录 设计图例	88	
参考文献	93	

第 1 章

概 述

1.1 机械原理课程设计的意义和目的

1.1.1 机械原理课程设计的意义

机械原理课程是高等工科院校机械类专业的一门重要的技术基础课，在整个教学计划中起承上启下的作用。机械原理课程设计是机械原理课程非常重要的实践性教学环节，通过本课程的学习和课程设计实践，使学生掌握机构学和机械动力学的基本理论、基本知识和基本技能，培养学生初步拟定机械运动方案、分析和设计基本机构的能力，同时为进一步学习机械设计和有关专业课程，以及为今后从事机械设计工作打下坚实的基础。机械原理课程对机械类专业学生进行机构选型、机械系统运动方案设计及创新能力的培养具有十分重要的意义。

1.1.2 机械原理课程设计的目的

1) 通过机械原理课程设计，使学生在进行机械系统运动方案设计的过程中，初步了解机械原理设计的全过程，可将机械原理课程中学习的理论、方法与实践知识融会贯通，达到进一步巩固和加深所学知识的目的。

2) 通过机械系统运动方案的设计，使学生了解机构及其组合的奇妙性与多样性，方案设计的创造性与关键性，从而具有对机构进行选型、组合、变异及确定运动方案的能力，进而达到培养学生开发和创新机械产品的能力。

3) 通过对机械系统的运动设计，使学生对运动学及动力学的分析与设计有一较完整的概念。

4) 通过机械原理课程设计，可培养学生运算、绘图、归纳总结、运用计算机及查阅有关技术资料的能力。

5) 机械原理课程设计的全过程，既能培养学生独立思考分析解决实际问题的能力，又可发挥团队之间的协作精神。

1.2 机械原理课程设计的内容和任务

1.2.1 机械原理课程设计的内容

根据教育部高等学校机械基础课程教学指导委员会 2015 年颁布的《机械原理课程教学基本要求》，机械原理课程设计的基本内容有：

- 1) 机械方案的设计与选择。
- 2) 机构运动的分析与设计。
- 3) 机械动力的分析与设计。

机械原理课程设计的题目，可由教师根据本校的具体情况以及不同专业的需要选定。但为了保证机械原理课程设计的基本内容，以及一定程度的综合性和完整性，机械原理课程设计的选题应注意以下几方面：

- 1) 一般应包括三种机构（连杆机构、凸轮机构和齿轮机构）的分析与综合。
- 2) 应具有多个执行机构的运动配合关系，包括运动循环图的分析与设计。
- 3) 运动方案的选择与比较。

1.2.2 机械原理课程设计的任务

- 1) 根据题目按给定的机械工作要求，合理地进行机构的选型与组合。
- 2) 设计多个机械系统的运动方案，对各种方案进行对比与评价，从中确定最佳的运动方案。
- 3) 对所选择的运动方案，确定机构运动简图，绘制机构运动循环图。
- 4) 对选定方案中的机构（连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、其他常用机构、组合机构等）进行运动学和动力学的分析与设计。
- 5) 整理设计过程及数据，编写设计计算说明书。

1.3 机械原理课程设计的方法和要求

1.3.1 机械原理课程设计的方法

机械原理课程设计的方法可分为三种。

1. 图解法

图解法具有简单、形象、直观、几何关系清晰等特点，但精度不高且作图烦琐。图解法常用来解决简单机械的分析问题，对高速及精密机械，用图解法很难满足精度的要求。

2. 解析法

解析法是将要研究的问题抽象成数学模型。解析法具有运算精度高、速度快的特点，随着计算机辅助设计软件的不断发展与完善，采用解析法进行机械的分析、综合越来越方便、快捷、高效。解析法在分析机械整个运动循环时的运动学和动力学性能方面，优势更加突出。

3. 实验法

实验法是通过搭建模型、采用计算机动态演示与仿真或 CAD/CAM 等方法,进行机械产品设计的方法。实验法可利用机械创新实验装置或“慧鱼”组合模型,形成创新设计,并通过测试装置检验其运动的可行性及其运动学和动力学特征。实验法形象、直观,具有很强的实践性,便于调动学生的学习主动性,激发学生的创新思维,培养学生的动手能力。

上述设计方法各有千秋,可相互补充。在工程实际中要求工程技术人员能熟练地掌握各种设计方法,故在机械原理课程设计中提倡多种方法并用。

1.3.2 机械原理课程设计的要求

机械原理课程设计最终完成时需提交的技术资料包括:设计图样和设计计算说明书。

1. 设计图样

设计图样是机械原理课程设计的重要组成部分。设计图样的内容主要包括:

- 1) 机械系统运动方案设计中的机构运动方案简图。
- 2) 用图解法对机构某些位置进行运动分析(机构的位移、速度、加速度)和动态静力分析的过程。
- 3) 执行构件的运动线图。
- 4) 原动件的平衡力矩线图。
- 5) 飞轮的设计图和齿轮啮合图等。

对所绘图样要求图纸规格、线条、尺寸标注及标题栏等均应符合国家制图标准的规定,做到图面布置合理美观、线条粗细匀称分明、作图清晰准确、尺寸标注齐全等。图样标题栏格式如图 1-1 所示。

50	(作业名称)					机械原理课程设计
	设计		(日期)	方案号		学院(系)
	审阅		(日期)	图号		专业
	成绩			图总数		班
	15	20	15	20	20	
	135					

图 1-1 图样标题栏格式

2. 设计计算说明书

(1) 设计计算说明书的编写内容 设计计算说明书是对设计成果的归纳与总结,是评价整个设计的重要技术文件之一。通过编写设计计算说明书,为学生今后的学习及从事工程技术工作中撰写各种技术研究报告、产品说明书等提供一次必要的实际训练。机械原理课程设计计算说明书的内容主要包括:

- 1) 目录(标题、页次)。
- 2) 设计题目(包括设计任务、给定条件、设计要求等)。
- 3) 机械系统运动方案的拟定与比较,确定传动机构运动简图。
- 4) 制订机械系统的运动循环图。
- 5) 对所选用机构进行运动学和动力学的分析与设计;绘制机构运动分析线图、凸轮设

计图等。

6) 组织编写解析法设计的机构分析及设计原理的简要说明、分析思路和必要的设计计算公式, 计算所用的计算机主程序和子程序、主要界面及结果等。

7) 对设计结果进行整理、分析、讨论, 提出存在的问题及改进的措施, 总结设计体会等。

8) 列出主要参考文献。

(2) 设计计算说明书的要求

1) 设计计算说明书的编写要求字体工整、文字简练、语言通顺、步骤清晰, 且能全面反映设计计算的过程, 并具有一定的可读性。

2) 设计计算说明书必须用黑色或蓝色墨水笔书写 (禁用铅笔或彩色笔等), 也可用计算机打印。

3) 设计计算说明书应按分析、设计顺序编写, 列出必要的大小标题, 章节号和序号要层次清晰。

4) 设计计算内容要先列出计算公式、代入数据、再写出计算结果, 可省略不必要的中间运算过程, 对重要数据应简要说明并给出结论。

5) 引用的计算公式及数据应注明来源 (如参考资料的编号、页码及图表号等)。

6) 为清楚反映设计计算过程, 说明书中应附有必要的插图, 如机械传动方案简图、机构运动简图、运动分析和动力分析矢量图等。

7) 为增加设计计算说明书的可读性, 对阶段性分析设计结果应归纳整理并列出必要的表格。

8) 设计计算说明书要用 16 开 (A4) 纸书写, 并装订成册。封面格式和书写格式如图 1-2 所示。

9) 参考文献按顺序号、作者、书名、出版社及出版时间等编写。可参阅书后参考文献格式编写, 详细请参阅国家标准 GB/T 7714—2015。

<div style="text-align: center;">机械原理课程设计</div> <p>设计题目: _____</p> <p>____系 (院) _____ 班级</p> <p>设计者: _____</p> <p>指导教师: _____</p> <p>完成日期: _____ 年 月 日</p> <p>设计成绩: _____</p> <p style="text-align: center;">(校 名)</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">计算内容及说明</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">计算结果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">(计算内容及说明)</td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">(计算结果)</td> </tr> </tbody> </table>	计算内容及说明	计算结果	(计算内容及说明)	(计算结果)
计算内容及说明	计算结果				
(计算内容及说明)	(计算结果)				

图 1-2 设计计算说明书封面格式和书写格式

1.4 机械原理课程设计的教学进度和成绩评定

1.4.1 机械原理课程设计的教学进度

机械原理课程设计可根据各校对不同专业的具体要求,安排1周或1.5周的时间进行课程设计。机械原理课程设计的教学进度可参考表1-1。

表 1-1 机械原理课程设计教学进度安排

序号	内 容	时间/天	
1	布置题目、方案讨论、确定方案	1	1.5
2	平面机构的运动分析	1	1.5
3	平面机构的动态静力分析	1	1.5
4	齿轮机构设计	0.5	1
5	凸轮机构设计	0.5	0.5
6	其他机构设计	—	1
7	编写设计计算说明书	1	1
8	答辩	1	1
总计		6	9

1.4.2 机械原理课程设计成绩评定

机械原理课程设计的成绩单独计分。成绩的评定应根据学生的设计态度和表现,提交的设计图样和设计计算说明书的质量,以及在答辩过程中表现出的分析问题和解决问题的能力等方面进行综合评定。评定标准可按优、良、中、及格、不及格5个等级评定,或按百分制给出具体分数。

第 2 章

机械系统运动方案与创新设计

2.1 机械系统运动方案设计

设计新的机械时，完整的设计过程包括方案设计、结构设计和强度设计。机械系统运动方案设计是一项复杂的创造性思维过程，是机械设计的核心，设计的正确和合理与否，对机械的性能和质量、降低制造成本与维护费用等影响很大。本节仅讨论机械系统的运动方案设计。机械结构设计和强度设计，可参考本书有关内容和其他资料。

2.1.1 机械系统运动方案设计的主要步骤

1. 拟定机械的工作原理，确定执行构件所要完成的运动

进行机械系统运动方案设计时，首先要根据预期的生产任务拟定机械的工作原理，再进行工艺动作过程分析，确定其运动方案，从而得到所需的执行构件的数量与运动。

机械系统是根据机械预期完成的生产任务和所提出的运动要求进行设计的。因此在进行机械系统的方案设计前，应认真研究所要设计机械的工艺过程和动作要求，利用各种方法，并借鉴同类产品成功的经验和最新科技成果，拟定出合理的工作原理。

机械系统运动方案和选定机械的工作原理密切相关。一般说来，根据不同的工作原理，所得到的机械系统运动方案是不一样的，执行构件所需要完成的运动也是不一样的。如按仿形法原理加工齿轮和按展成法原理加工齿轮，所设计的机械系统方案就不一样。即使是采用同一工作原理，也可以拟定出不同的机械系统运动方案。例如，图 2-1 所示在滚齿机上用滚刀切制齿轮和图 2-2 所示在插齿机上用插刀切制齿轮，虽同属展成法加工原理，但由于所用的刀具不同，两者的机械系统运动方案也就不一样。

机械的工作原理是否合理、高效，在很大程度上反映出该机械的先进程度。机械系统运动方案拟定的是否合理、得当，对机械的性能、质量和成本也起着决定性的影响。例如，在设计洗衣机时，如果采用仿人手搓揉衣服那样的洗涤方法，执行机构就必须设计成能实现类似人手搓揉的动作，这是非常复杂的；然而如果采用水流与衣服的相对运动洗涤法，则只要由电动机带动一个转筒或滚筒就行了，这显然简单得多。因此对于拟定机械的工作原理这项工作要给予足够的重视。

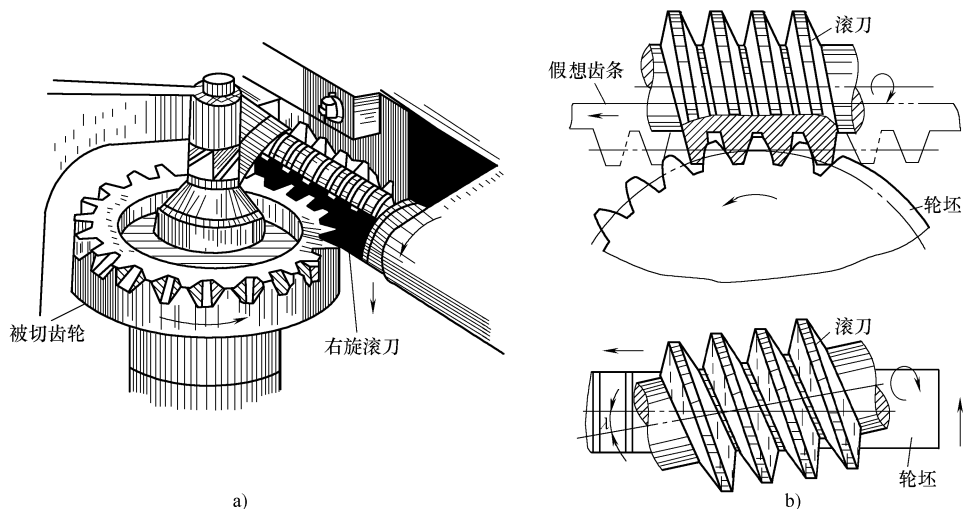


图 2-1 滚齿运动方案

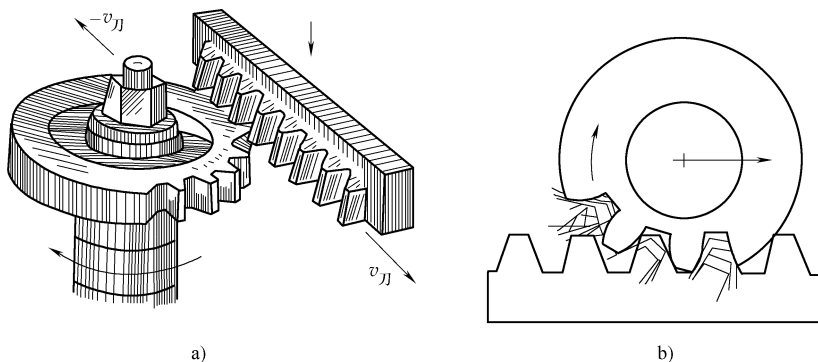


图 2-2 插齿运动方案

在拟定机械的工作原理时，思路要开阔，必要时可拓展到声、光、电、液和磁等相关领域。

2. 选定原动机

原动机的运动形式主要是回转运动和往复直线运动。当采用电动机、液压马达、气动马达和内燃机等原动机时，原动件做回转运动；当采用往复式液压缸或气缸等原动件时，原动件做往复直线运动。在一般机械中用得最多的还是交流异步电动机，它具有结构简单、价格便宜、效率高和使用控制方便等优点，其同步转速有 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min、600r/min 等 5 种规格。在输出同样的功率时，电动机的转速越高，电动机的极数越少，其尺寸和重量就越小，价格也越低。一般电动机在整部机器的总造价中，往往占有相当大的比重，因而选用转速较高的电动机，不仅可以降低成本，而且当执行构件的速度较高时，选用高转速电动机可缩短运动链，从而提高机械效率。但如果执行构件的速度很低，若仍选用高转速电动机，则势必要增大减速装置，反而可能导致成本提高，机械效率降低。在

这种情况下，应从电动机和减速装置的总费用、机械传动系统的复杂程度及其机械效率等各方面综合加以考虑，才能恰当地选取适合的电动机。

当执行机构需无级变速时，可考虑采用直流电动机或交流变频电动机。当需精确控制执行机构的位置或运动规律时，可选用伺服电动机或步进电动机。

当要求执行机构易控制、响应快、灵敏度高时，宜采用液压马达或气动马达。

当要求执行机构起动迅速、便于移动或在野外作业场地工作时，宜选用内燃机。

原动机选择得是否恰当，对整个机械的性能及成本、整个机械传动系统的组成及其繁简程度将有直接影响。所以，原动机的选择是机械系统运动方案设计中重要的一环，必须予以足够的重视。

3. 合理选择机构，必要时对其恰当组合，形成机械系统运动方案，绘制系统示意图

各执行构件的运动确定以后，通过对各种常用机构的工作特点、性能和适用场合进行分析比较，选择合适的基本机构，必要时可对其进行恰当组合，形成能实现各执行构件运动和动力要求的运动链。如果执行构件的运动比较复杂，就将其分解为机构易于实现的基本运动。机械中主要的基本运动形式有：单向转动、单向移动、往复摆动、往复移动以及间歇运动。

当所选机构不能全面满足机械的要求，或为了改善所选机构的性能和结构时，可以通过机构变异（如改变机构中某些构件的结构形状、运动尺寸、更换机架或原动件、增加辅助构件等）等创新设计方法获得新的机构或特性。

一般说来，执行机构的运动速度较低，而原动机的速度一般较高，这就需要在二者之间设计减速运动链。可作为减速运动链的机构有：带传动、链传动、齿轮传动和蜗杆传动等，可单独使用这些传动，也可组合使用，按其工作特点、性能和适用场合选用。

对于有运动协调配合要求的执行构件，可根据工艺过程和动作要求，编制机械的运动循环图来确定各执行构件动作的协调关系。也可借助一些控制机构（如内燃机和牛头刨床中的凸轮机构），或计算机控制系统实现运动的协调配合。

按照以上方法，可以设计出许多方案，通过分析、比较从中选出最佳方案，形成满足要求的最合理的机械系统初步方案，绘制其示意图。

4. 机构的尺寸综合

机械系统运动方案初步确定后，便可根据已知条件、实际情况和工艺要求以及各执行构件运动的协调配合要求，设计各个机构，确定各构件的运动尺寸、电动机功率，绘出机械系统运动简图。然后应对机械系统运动方案进行综合分析和评价，如不合适可进行适当修改或重新设计，直到满意为止。

2.1.2 机械系统运动方案设计的一般原则

在设计机械系统运动方案时，为了更加合理，一般应遵循以下原则：

1. 采用尽可能简短的运动链

机构采用的运动链越简短，构件数目就越少，越有利于降低机械的重量和制造成本，也越有利于提高机械效率和减少累积误差。在选择机构时，为了使运动链简短，有时宁可采用具有设计误差但结构简单的近似机构，而不采用理论上没有误差但结构复杂的基本机构或组合机构。

2. 优先选用基本机构

由于基本机构结构简单,设计方便,技术成熟,故在满足功能要求的前提下,应优先选用基本机构。若基本机构不能满足或不能很好地满足机械的运动和动力要求时,才可适当地对其进行变异或组合。

3. 应使机械有较高的机械效率

机械的效率取决于组成机械的各个机构的效率。因此,当机械中包含有效率较低的机构时,就会使机械的总效率随之降低。但应注意,机械中各运动链所传递的功率往往相差很大,主运动链(如牛头刨床中驱动刨头运动的运动链)传递的功率最大,而辅助运动链(如牛头刨床中的进给运动链)传递的功率往往很小。在设计时应着重考虑使主传动运动链具有较高的机械效率,辅助运动链的机械效率高可放在次要地位,而着眼于其他方面的要求(如可选择机械效率不高,但能使整个机械系统结构紧凑、外廓尺寸小的辅助运动链)。

4. 合理安排各种传动机构的顺序

一般说来,组成机器的机构在排列顺序上有一些规律:转变运动形式的机构(如凸轮机构、连杆机构和螺杆机构等)通常总是安排在运动链的末端,与执行构件靠近;而带传动等靠摩擦传动的机构一般都安排在转速较高的运动链的起始端,以减小其传递的转矩,从而减小其外廓尺寸,这样安排,也有利于起动平稳和过载保护,而且原动机的布置也较方便。

5. 合理分配传动比

运动链的总传动比应合理地分配给各级传动机构,具体分配时应注意以下两点:

1) 每一级传动的传动比应在常用的范围内选取。如一级传动的传动比过大,对机构的性能和尺寸都是不利的。例如,当齿轮传动的传动比大于8~10时,一般应设计成两级传动;当传动比大于30时,常设计成两级以上的齿轮传动。但是对于带传动来说,一般不宜采用多级传动。

2) 因电动机的速度一般都比执行构件的高,故机械通常都是减速传动,在这种情况下,一般按照“前小后大”的原则分配传动比,这样有利于减小机械的尺寸。

6. 保证机械的安全运转

设计机械系统时,必须十分注意机械的安全运转问题,防止发生人身伤害或机械的损坏。例如起重机械的起吊部分,必须防止在荷重的作用下自动倒转,为此在传动链中应设置具有自锁能力的机构(如蜗杆机构)或装设制动器。又如,为防止机械因过载而损坏,可采用具有过载打滑现象的摩擦传动或装设安全联轴器等。

2.1.3 机械系统运动方案的评价指标

在机械系统运动方案设计中,实现所设计机械的功能可采取不同的工作原理,而同一工作原理又可有多种不同的实施方案,因此需要对所拟定的机械系统运动方案进行评价,以便从中选出最佳的方案。机械系统运动方案评价主要考虑以下几个方面。

(1) 机械功能的实现质量 在拟订方案时,所有方案都基本上能满足机械的功能要求,然而各方案在实现功能的质量上还是会有差别的,如工作的精确性、稳定性和适应性等。

(2) 机械的工作性能 机械在满足功能要求的条件下,还应具有良好的工作性能,如运转的平稳性、传力性能和承载能力等。

(3) 机械的动力性能 如冲击、振动、噪声和耐磨性等。

(4) 机械经济性 机械经济性包括设计、制造、运转和维护时的经济性，其要求是结构简单、易于设计和制造、成本低、机械效率高、能耗少、工作可靠、便于维护等。

(5) 机械结构的合理性 机械结构的合理性包括机械结构的复杂程度、尺寸、重量、大小等。

2.1.4 各执行构件间运动的协调配合和机械的运动循环图

1. 各执行构件间运动的协调配合

多数机械的执行构件不止一个。有一些机械，各执行构件间的运动是彼此独立的，不需要协调配合。在这种情况下，可分别为每一种运动设计一个独立的运动链，并由单独的原动机驱动。而另外一些机械则要求其各执行构件的运动必须准确协调配合，才能完成生产任务。具体说来可分为如下两种情况：

(1) 各执行构件运动速度的协调配合 有些机械要求其各执行构件的运动之间必须保持严格的速比关系。例如，按展成法加工齿轮时，刀具和工件的展成运动必须保持某一恒定的传动比；在车床上车削螺纹时，主轴的转速和刀架的走刀速度也必须保持恒定的速比关系等。

(2) 各执行构件动作的协调配合 有些机械要求其各执行构件在时间和运动位置上必须准确协调配合。例如，内燃机中进气阀、排气阀与活塞之间的动作，在时间和位置上必须协调配合；在牛头刨床中，刨头和工作台的动作必须协调配合，工作台的进给运动应在非切削时间内进行，其余时间则静止不动。此时，不但动作的先后次序要协调，而且每一个动作持续时间的长短也必须协调。

对于有运动协调配合要求的执行构件，往往采用同一个电动机，通过运动链将运动分配到各执行构件上去，借助一些控制机构或计算机控制系统实现运动的协调配合。

2. 机械的运动循环图

如前所述，某些机械的各执行构件在动作上必须准确协调配合，才能完成生产任务。大多数机械系统中各执行构件的运动是周期性的，即经过一定时间间隔后，其运动就会重复，也称为完成一个运动循环。在每一个运动循环内，一般又可分为工作行程和空回行程。为了保证机械在工作时其各执行构件动作的协调配合关系，在设计机械时应编制出用以表明在机械的一个运动循环中各执行构件运动配合关系的运动循环图。在编制运动循环图时，要从机械中选择一个构件作为定标件，用它的运动位置（转角或位移）作为确定其他执行构件运动先后次序的基准。运动循环图通常有如下3种：

(1) 直线式运动循环图 如图 2-3a 所示，直线式运动循环图是将机械在一个运动循环中各执行构件各行程区段的起止时间和先后顺序，按比例绘制在直线坐标轴上。直线式运动循环图在机械执行构件较少时，表示动作时序清晰明了。

(2) 圆周式运动循环图 如图 2-3b 所示，每一个圆环代表一个构件，由各相应圆环分别引径向线表示各执行构件不同运动区段的起止位置。可清楚地看出各执行构件的运动与定标件的相位关系，其缺点是同心圆较多，看上去杂乱。

(3) 直角坐标式运动循环图 如图 2-3c 所示，用横坐标轴表示定标件轴的转角，纵坐标轴表示各执行构件的位移。为了简单起见，其工作行程、空回行程以及停歇区段分别用上

升、下降和水平的直线表示。直角坐标式运动循环图能清楚地表示出各执行构件的位移情况及相互关系。

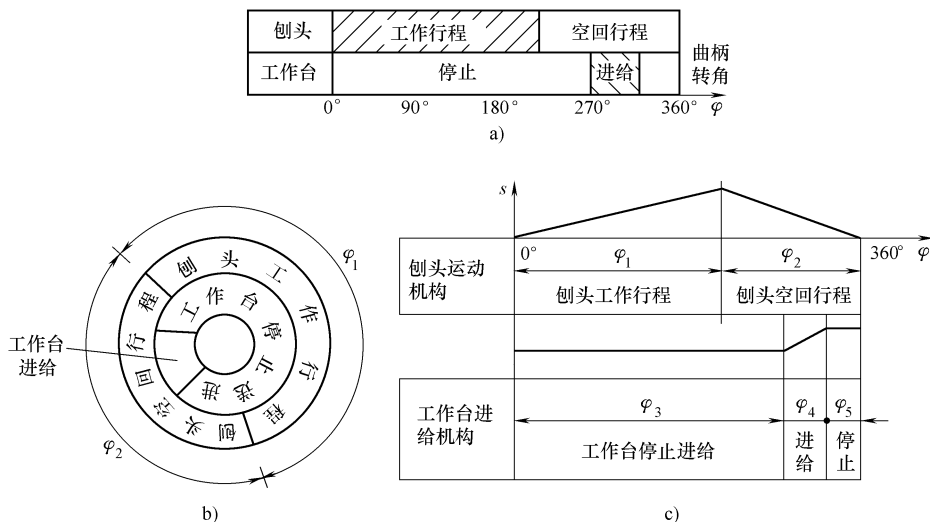


图 2-3 牛头刨床 3 种形式的运动循环图

a) 直线式 b) 圆周式 c) 直角坐标式

图 2-3 中 a、b 和 c 分别为牛头刨床的直线式、圆周式以及直角坐标式运动循环图，它们都是以牛头刨床主机构中的曲柄为定标件，曲柄回转一周为一个运动循环。由图 2-3 可见，工作台的横向进给是在刨床空回行程进行一段时间以后开始，在空回行程结束之前完成，这样安排既考虑了刨刀与移动的工件不发生干涉，又能提高效率，还考虑了机械系统实现这一时序运动的难易程度。

显然，运动循环图是进一步合理设计机械系统的重要依据。

2.1.5 机械系统运动方案设计举例

机械系统运动方案设计是一个复杂而较难掌握的过程，它既需要设计者具有深厚的理论知识，更需要设计者具有丰富的设计经验。要想真正掌握机械系统运动方案的设计方法，必须通过多次的设计实践活动才能做到。下面以图 2-4 所示牛头刨床为例，说明机械系统运动方案设计的一般思路和方法。

1. 选定机械的工作原理，确定执行构件所要完成的运动

图 2-4 所示牛头刨床是一种用于平面切削加工的机床，其工作原理是：为了切削掉多余金属，刨头带着刨刀做纵向（左右）往复直线运动，称为切削运动。具体来说，刨头向右移动时，带动刨刀切削工件表面，称为工作行程；刨头向左运动时，刨刀不切削，称为空回行程。为了完成整个工件表面的切削，夹紧工件的工作台必须有垂直于刀具运动方向的间歇移动，称为工作台横向（前后）进给运动。为了使刨刀能与被加工工件接触，并且当工件表面被切削掉一层后，还能继续被切削另一层表面，工作台和刀架应能上下运动，称为工作台和刀架的垂直进给运动。上述三种运动必须协调动作、有机配合，才能完成工件的切削任务。其工艺要求是：