

机械零部件结构设计 及计算实例

刘瑛 李玉兰 主编



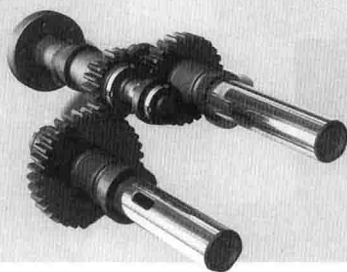
JIXIE LINGBUJIAN
JIEGOU SHEJI
JI JISUAN SHILI



化学工业出版社

机械零部件结构设计 及计算实例

刘 瑛 李玉兰 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是编者在总结多年教学实践经验的基础上,充分吸纳机械设计领域中的新标准、新工艺、新结构和新方法编写而成。在编写中力求体系合理,信息量大,突出实用性和使用方便性。

全书分上下两篇。上篇在介绍机械零部件结构工艺性设计的基本要求和内容的基础上,以大量的图例介绍了铸件、锻压件、冲压件、切削件、热处理零件和粉末冶金件、工程塑料件、橡胶件、焊接件等零部件的结构工艺性,以及零部件设计的装配与维修工艺性;下篇以通用零部件为主干,全面系统地阐述了常用连接件、带传动、链传动、齿轮传动、螺旋传动、轴、轴承、联轴器、离合器和制动器等典型零部件的选用和结构设计,并给出了应用实例。

本书可供从事机械设计、制造、维修及相关工作的工程技术人员使用与参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械零部件结构设计及计算实例/刘瑛,李玉兰主编.
北京:化学工业出版社,2014.6

ISBN 978-7-122-20514-8

I. ①机… II. ①刘…②李… III. ①机械元件-结构设计②机械元件-结构计算 IV. ①TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 083359 号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:孙 科

责任校对:边 涛

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数397千字 2015年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近年来,为增强学生的适应性、工程实践能力和创新性,各高等院校都在开展课程体系、教学内容、教学方法和教学手段的改革,力求使学生的素质、知识和能力更好地适应市场经济的需要和新技术的发展。

在机械类和近机械类专业的教学环节中,机械零部件的设计是学生必须熟练掌握的基本内容。在多年的教学实践中,编者发现机械零部件的结构设计往往是学生的薄弱环节,学生所做的不合理结构设计常常导致零部件无法加工制造。因此,为适应机械设计基础课程教学改革,根据“机械设计基础课程教学基本要求”以及教育部组织的高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划要求,编者依据多年的教学实践经验,吸纳了机械工程设计领域中的新标准、新工艺、新结构、新理论和新方法,以大量的图例介绍了各种零部件结构的加工工艺性、装配工艺性和维修工艺性,系统地阐述了典型零部件的选用和结构设计,并给出了应用实例。

本书在编写和内容上具有以下特色。

① 体系合理、条理清楚。本书分上下两篇,上篇在介绍机械零部件结构工艺性设计的基本要求和内容的基础上,图文并茂地介绍了铸件、锻压件、冲压件、切削件、热处理零件和粉末冶金件、工程塑料件、橡胶件、焊接件等零部件的结构工艺性,以及零部件设计的装配与维修工艺性;下篇以通用零部件为主干,全面系统地阐述了常用连接件、带传动、链传动、齿轮传动、螺旋传动、轴、轴承、联轴器、离合器和制动器等典型零部件的选用和结构设计,并以实例说明了这些知识点的应用。

② 实践性强、知识与技能并重。全书的内容较为全面地涵盖了机械工程设计所涉及的零部件,充分分析了机械零部件结构设计的多样性,设计计算实例模拟了实际工程设计,具有较强的实践性,充分体现了理论联系实际、知识与技能并重的思想。

本书兼顾了机械类和近机械类专业特点与要求,优化整合了机械零部件结构设计的有关内容,与当前教学密切配合,反映了当前教学的特色与发展趋势,突出了系统性和实用性,既可作为高等院校学生的教学教材和参考资料,也可供从事机械设计、制造、维修及相关工作的工程技术人员使用与参考。

本书由刘瑛、李玉兰主编,张学玲、柴树峰任副主编,骆素君主审。参与编写的有军事交通学院的刘洁、张丽杰、李永刚、田广才、杨钢、孙燕、白丽娜、冯任余、李静、陈宏睿、欧阳熙。

编 者

目 录

上篇 机械零部件结构工艺性设计

第1章 机械结构设计的基本要求和

主要内容 1

1.1 机械结构设计的基本要求 1

1.1.1 机械结构设计基本准则 1

1.1.2 机械零件结构设计基本要求 1

1.2 机械零件结构设计的主要内容 2

1.2.1 满足功能要求的结构设计 2

1.2.2 满足工作能力要求的结构设计 8

第2章 铸件结构设计工艺性 15

2.1 常用铸造金属材料和铸造方法 15

2.1.1 常用的铸造金属材料 15

2.1.2 常用的铸造方法 16

2.2 铸件结构设计工艺性的要求 18

2.2.1 简化铸造工艺 18

2.2.2 提高铸造性能 24

2.2.3 受力合理 33

2.2.4 便于切削加工 33

2.2.5 采用组合铸件 35

2.3 特种铸造对铸件结构设计工艺性的

要求 36

2.3.1 压力铸件的结构工艺性 36

2.3.2 熔模铸件的结构工艺性 37

2.3.3 金属型铸件的结构工艺性 38

2.4 组合铸件对结构工艺性的要求 38

第3章 锻压件结构设计工艺性 41

3.1 锻造办法与金属的可锻性 41

3.1.1 各种锻造方法及其特点 41

3.1.2 金属材料的可锻性 41

3.2 锻造方法对锻件结构设计工艺性的

要求 42

3.2.1 自由锻件的结构设计工艺性 42

3.2.2 模锻件的结构设计工艺性 42

第4章 冲压件结构设计工艺性 51

4.1 冲压工序和冲压件对材料的要求 51

4.1.1 冲压工序 51

4.1.2 冲压件对材料的要求 53

4.2 冲压件的基本参数 53

4.2.1 冲裁件的基本参数 53

4.2.2 弯曲件的基本参数 55

4.2.3 拉深件的基本参数 56

4.2.4 加强筋的基本参数 57

4.3 冲压件的结构设计 58

4.3.1 冲裁件的结构设计 58

4.3.2 弯曲件的结构设计 59

4.3.3 拉深件的结构设计 59

4.3.4 其他应注意的结构设计问题 59

第5章 切削件的结构设计工艺性 62

5.1 零件结构应利于保证加工质量 62

5.2 零件结构应利于减少切削加工量和 提高加工效率 65

5.3 零件结构应利于减少生产准备和 辅助工时 67

5.4 零件结构的精度设计及尺寸标注应符合 加工能力和工艺性要求 70

第6章 热处理零件的结构设计

工艺性 74

6.1 零件热处理方法的选择 74

6.1.1 退火 74

6.1.2 正火 75

6.1.3 淬火 75

6.1.4 回火 75

6.1.5 表面淬火 76

6.1.6 钢的化学热处理 76

6.2 影响热处理零件结构设计工艺性的 因素 77

6.2.1 零件材料的热处理性能 77

6.2.2 零件的几何形状、尺寸大小和 表面质量 78

6.3 热处理零件结构设计的注意事项 78

6.3.1 防止热处理零件开裂的注意 事项 79

6.3.2 防止热处理零件变形的注意 事项 81

6.3.3 防止热处理零件硬度不均的 注意事项 82

6.4 典型零件的热处理实例 83

6.4.1 齿轮的热处理	83	7.3 橡胶件结构设计结构工艺性	93
6.4.2 轴类零件的热处理	84	7.3.1 橡胶材料的选用	93
6.4.3 弹簧的热处理	85	7.3.2 橡胶件的结构与参数	93
6.4.4 丝杠的热处理	85	7.4 焊接件结构设计工艺性	95
6.5 在工作图上应标明的热处理要求	86	7.4.1 焊接方法及适用范围	95
第7章 其他材料零件及焊接件的结构		7.4.2 焊接件的几何尺寸	96
设计工艺性	87	7.4.3 焊接件的结构设计	96
7.1 粉末冶金件的结构设计工艺性	87	第8章 零部件设计的装配与维修	
7.1.1 粉末冶金材料的分类和选用	87	工艺性	99
7.1.2 可以压制成形的粉末冶金零件		8.1 一般装配对零部件结构设计的工艺性	
结构	87	要求	99
7.1.3 需要机械加工辅助成形的粉末		8.1.1 零部件结构应能组成单独的部件	
冶金零件结构	88	或装配单元	99
7.1.4 粉末冶金零件结构设计的基本		8.1.2 零部件结构应结合工艺特点进行	
参数	88	设计	100
7.1.5 粉末冶金零件的结构设计	88	8.1.3 零部件结构应便于装配操作	100
7.2 工程塑料件的结构设计工艺性	91	8.1.4 便于拆卸和维修	101
7.2.1 工程塑料的选用	91	8.2 自动装配对零部件结构设计的工艺性	
7.2.2 工程塑料件的制造方法	91	要求	103
7.2.3 工程塑料零件设计的基本参数	91	8.3 过盈配合结构的装配工艺性	106
7.2.4 工程塑料零件的结构设计	92	8.4 零部件的维修工艺性要求	108
下篇 典型零部件的结构设计及计算实例			
第9章 常用连接件	110	10.2.3 普通V带基本参数	126
9.1 螺纹连接的类型及设计计算	110	10.2.4 带轮结构及技术要求	128
9.1.1 螺纹连接的类型及标准连接件	110	10.3 带传动的设计及计算实例	130
9.1.2 螺纹连接的预紧和防松	112	10.3.1 普通V带设计参数	130
9.1.3 螺纹连接的设计计算	113	10.3.2 普通V带传动的设计计算	134
9.1.4 螺栓组连接的结构设计	116	10.3.3 带传动的设计计算实例	136
9.1.5 螺纹连接的设计计算实例	116	10.4 V带传动的安装、防护及张紧	138
9.2 键连接的类型及设计计算	118	10.4.1 V带传动的安装	138
9.2.1 键和键连接的类型、特点及		10.4.2 V带传动的防护	138
应用	118	10.4.3 V带传动的张紧	138
9.2.2 键连接的强度校核计算	119	第11章 链传动	140
9.2.3 平键连接的设计计算实例	120	11.1 链传动的类型及运动特性	140
9.3 销连接的类型及设计计算	121	11.1.1 链传动的类型及特点	140
9.3.1 销连接的类型、特点和应用	121	11.1.2 链传动的运动特性	141
9.3.2 销连接的强度计算	122	11.1.3 链传动的受力分析	143
9.3.3 销连接的设计计算实例	123	11.2 链传动的结构设计	143
第10章 带传动	125	11.2.1 滚子链的结构及尺寸	143
10.1 带传动概述	125	11.2.2 链轮的结构及尺寸	144
10.1.1 带传动的工作原理	125	11.3 链传动的设计及计算实例	147
10.1.2 带传动的类型	125	11.3.1 滚子链传动的设计计算	147
10.2 带和带轮的结构设计	125	11.3.2 滚子链传动的设计计算实例	151
10.2.1 V带的分类	125	11.4 链传动的安装、使用和维护	152
10.2.2 V带剖面结构	126	11.4.1 链传动的合理布置	152

11.4.2	链传动的张紧装置	153	15.1.3	滚动轴承的选择计算	204
11.4.3	链传动的润滑	155	15.1.4	滚动轴承的设计计算实例	206
第 12 章	齿轮传动	157	15.2	滚动轴承轴系结构设计	207
12.1	齿轮传动概述	157	15.2.1	轴承的组合结构设计	207
12.1.1	齿轮传动的类型	157	15.2.2	轴承的轴向固定	209
12.1.2	轮齿的失效形式	157	15.2.3	轴承组合的调整	209
12.1.3	齿轮的材料选择	159	15.2.4	轴承的配合	211
12.1.4	齿轮的热处理方法	159	15.2.5	轴承的装拆	211
12.1.5	齿轮传动的精度	160	15.3	滑动轴承的类型及设计计算	212
12.2	圆柱齿轮传动的设计计算	160	15.3.1	滑动轴承的类型及结构形式	212
12.2.1	渐开线直齿圆柱齿轮的设计 计算	160	15.3.2	滑动轴承的失效形式及常用 材料	214
12.2.2	渐开线直齿圆柱齿轮的设计 计算实例	164	15.3.3	不完全液体润滑滑动轴承的 设计计算	216
12.2.3	渐开线斜齿圆柱齿轮传动的 设计计算	168	15.3.4	不完全液体润滑滑动轴承的 设计计算实例	217
12.2.4	渐开线斜齿圆柱齿轮传动的 设计计算实例	170	第 16 章	联轴器、离合器和制动器	219
12.2.5	圆柱齿轮的结构	172	16.1	联轴器的类型及设计计算	219
12.3	直齿圆锥齿轮传动的设计计算	175	16.1.1	联轴器的分类及类型选择	219
12.3.1	直齿圆锥齿轮尺寸计算	175	16.1.2	几种常用的联轴器	220
12.3.2	圆锥齿轮传动的强度计算	177	16.1.3	联轴器的选择和设计计算	221
12.3.3	直齿圆锥齿轮传动的计算 实例	178	16.1.4	联轴器的选择和设计计算 实例	222
12.3.4	圆锥齿轮的结构	180	16.2	离合器的结构和类型	223
第 13 章	螺旋传动	183	16.2.1	离合器的分类	223
13.1	螺旋传动的工作原理及类型	183	16.2.2	常用离合器	224
13.1.1	螺旋机构的工作原理	183	16.3	制动器的类型和设计计算	227
13.1.2	螺旋传动的类型和应用	183	16.3.1	制动器的组成及分类	227
13.1.3	螺旋机构的特点	184	16.3.2	制动力矩的计算	227
13.2	滑动螺旋传动的设计及计算	185	16.3.3	常用制动器	228
13.2.1	滑动螺旋的结构和材料	185	第 17 章	减速器	231
13.2.2	滑动螺旋传动的设计计算	185	17.1	减速器的结构和类型	231
第 14 章	轴	188	17.1.1	减速器的类型	231
14.1	轴的类型及材料	188	17.1.2	常用减速器的特点及应用	231
14.1.1	轴的类型	188	17.2	减速器的结构设计	233
14.1.2	轴的材料	188	17.2.1	减速器结构设计的一般步骤	233
14.2	轴的设计	189	17.2.2	减速器箱体的结构方案选择	234
14.2.1	轴的结构设计	189	17.2.3	减速器箱体的结构设计尺寸	236
14.2.2	轴的强度计算	194	17.2.4	箱体结构设计的基本要求	238
14.3	轴的设计计算实例	196	17.3	减速器的设计计算实例	240
第 15 章	轴承	202	17.3.1	传动装置的总体设计	240
15.1	滚动轴承的类型及设计计算	202	17.3.2	减速器传动零件的设计计算	243
15.1.1	滚动轴承的基本类型	202	17.3.3	减速器轴系零件的设计计算	244
15.1.2	滚动轴承类型的选择	203	17.3.4	减速器机体结构尺寸的确定	244
			17.3.5	减速器装配图的绘制	248
参考文献		249			

上篇 机械零部件结构工艺性设计

第1章 机械结构设计的基本要求和主要内容

1.1 机械结构设计的基本要求

1.1.1 机械结构设计基本准则

机械结构设计是一项综合性的技术工作,机械设计的最终结果是以一定的结构形式表现出来的,按所设计的结构进行加工、装配,制造成最终的产品。所以,机械结构设计应满足作为产品的多方面要求。基本要求有功能性、可靠性、工艺性、经济性和外观造型等方面的要求。此外,还应改善零件的受力,提高强度、刚度、精度和寿命等。

由于结构设计的错误或不合理,可能造成零部件不应有的失效,将使机器达不到设计精度的要求,给装配和维修带来极大的不方便。因此,机械结构设计过程中应考虑如下的结构设计准则:实现产品的预期设计功能;满足零件的强度、刚度设计要求;考虑零部件的加工工艺、装配工艺以及机构的造型设计要求等准则。

1.1.2 机械零件结构设计基本要求

机械零件结构设计应满足的要求很多,基本要求主要包括功能及使用要求、加工及装配工艺性要求、人机学及环保、经济性等要求。

(1) 功能要求

要满足运动范围和形式、速度大小和载荷传递等传动要求,以实现承载、固定、连接等功能。

① 明确功能 结构设计是要根据其在机器中的功能和与其他零部件相互的连接关系,确定参数尺寸和结构形状。零部件主要的功能有承受载荷、传递运动和动力,以及保证或保持有关零件或部件之间的相对位置或运动轨迹等。设计的结构应能满足从机器整体考虑对它的功能要求。

② 功能合理的分配 产品设计时,根据具体情况,通常有必要将任务进行合理的分配,即将一个功能分解为多个分功能。每个分功能都要有确定的结构承担,各部分结构之间应具有合理、协调的联系,以达到总功能的实现。多结构零件承担同一功能可以减轻零件负担,延长使用寿命。例如,若只靠螺栓预紧产生的摩擦力来承受横向载荷时,会使螺栓的尺寸过大,可增加抗剪元件,如销、套筒和键等,以分担横向载荷来解决这一问题。

③ 功能集中 为了简化机械产品的结构,降低加工成本,便于安装,在某些情况下,可由一个零件或部件承担多个功能。功能集中会使零件的形状更加复杂,但要有度,否则反而影响加工工艺、增加加工成本,设计时应根据具体情况而定。

(2) 使用性能要求

满足结构的强度、刚度、耐磨性、稳定性及可靠性等使用性能的要求。

① 等强度准则 零件截面尺寸的变化应与其内应力变化相适应,使各截面的强度相等。按等强度原理设计的结构,材料可以得到充分利用,从而减轻了重量、降低成本。如悬臂支

架、阶梯轴的设计等。

② 合理力流结构 力流在构件中不会中断,任何一条力线都不会突然消失,必然是从一处传入,从另一处传出。力流的另一个特性是它倾向于沿最短的路线传递,从而在最短路线附近力流密集,形成高应力区。其他部位力流稀疏,甚至没有力流通过,从应力角度上讲,材料未能充分利用。因此,为了提高构件的刚度,应该尽可能按力流最短路线来设计零件的形状,减少承载区域,从而累积变形越小,提高了整个构件的刚度,使材料得到充分利用。

③ 减小应力集中结构 当力流方向急剧转折时,力流在转折处会过于密集,从而引起应力集中,设计中应在结构上采取措施,使力流转向平缓。应力集中是影响零件疲劳强度的重要因素。结构设计时,应尽量避免或减小应力集中。

④ 使载荷平衡结构 在机器工作时,常产生一些无用的力,如惯性力、斜齿轮轴向力等,这些力不但增加了轴和轴衬等零件的负荷,降低其精度和寿命,同时也降低了机器的传动效率。所谓载荷平衡就是指采取结构措施,部分或全部平衡无用力,以减轻或消除其不良影响。这些结构措施主要是采用平衡元件、对称布置等。

(3) 工艺性要求

机械零件结构设计的工艺性要求分布在零部件生产过程的各阶段,要综合考虑制造、装配、维修和热处理等各种工艺及技术问题,要结合生产批量、制造条件和新的工艺技术的发展来进行设计,以求在保证功能和使用要求的前提下,采用较经济的工艺方法,保质、保量地制造出零件。一般而言,机械零件结构的工艺性要求包括:加工工艺性要求、装配工艺性要求、维修工艺性要求和热处理工艺性要求。

(4) 其他要求

机械零件结构设计还包括运输要求、人机学要求、环保与经济性要求等其他要求。运输要求指零件结构便于吊装和有利于交通工具运输。人机学要求指零件结构美观,符合宜人性要求,操作舒适安全。环保要求指减少对环境危害,零件可回收再利用。

机械零件的经济性主要取决于所选择的材料和结构设计。设计时要合理选择零件材料,要考虑材料的力学性能是否适应零件的工作条件和加工工艺,合理地确定零件的尺寸和满足工艺要求的结构,尽量简化结构形状,注意减少机械加工量,合理地规定制造精度等级和技术条件,尽可能采用标准件、通用件。

1.2 机械零件结构设计的主要内容

结构设计的主要任务是按照原理方案绘制出全部结构图,以便作为生产依据制造出可实现功能要求的产品。结构设计可分为机器总体结构设计和零部件结构设计。机械零件结构设计主要内容则包括选择零件的毛坯及其制造方法,选择零件的材料及其热处理方式,确定零件的形状、尺寸、公差、配合和技术条件等,并将之体现于零件图中。

1.2.1 满足功能要求的结构设计

满足主要机械功能要求,指满足运动范围和形式、速度大小和载荷传递等传动功能的要求,在技术上的具体化实现。如工作原理、工作的可靠性、工艺、材料和装配等方面的实现。

(1) 根据运动功能设计机构或结构

机构设计是根据功能要求设计原理方案。例如齿轮机构可以实现匀速转动——匀速转动运动;连杆机构可以实现匀速转动——变速转动或往复摆动运动;凸轮机构可以实现匀速转动——不同速度和规律的移动或摆动;螺旋机构可以实现匀速转动——线性移动,等等。

① 执行构件的基本运动形式 常用机构的执行构件的运动形式有回转运动、直线运动和曲线运动三种，其中回转运动和直线运动是最简单的机械运动形式。按照运动有无往复性和间歇性，基本运动的形式如表 1-1 所示。

表 1-1 执行构件的基本运动形式

序号	运动形式	举 例
1	单向转动	曲柄摇杆机构中的曲柄、转动导杆机构中的转动导杆、齿轮机构中的凸轮
2	往复摆动	曲柄摇杆机构中的摇杆、摆动导杆机构中的摆动导杆、摇块机构中的摇块
3	单向移动	带传动机构或链传动机构中的输送带(链)移动
4	往复移动	曲柄滑块机构中的滑块、牛头刨机构中的刨头
5	间歇运动	槽轮机构中的槽轮、棘轮机构中的棘轮，凸轮机构、连杆机构也可以构成间歇运动
6	实现轨迹	平面连杆机构中的连杆曲线、行星轮系中行星轮上任意点的轨迹

② 机构的运动形式转换功能 不同机构具有运动形式转换的功能，按照机构运动形式转换功能，可以组合成完成总功能的新机械。表 1-2 列出了机构的一些基本运动形式转换功能。

表 1-2 机构的运动形式转换功能

序号	基本功能	举 例
1	转动 $\longleftrightarrow$ 转动	双曲柄机构、齿轮机构、带传动机构、链传动机构
	转动 $\longleftrightarrow$ 摆动	曲柄摇杆机构、曲柄摇块机构、摆动导杆机构、摆动从动件凸轮机构
	转动 $\longleftrightarrow$ 移动	曲柄滑块机构、齿轮齿条机构、挠性输送机构
	转动 $\longleftrightarrow$ 单向间歇转动	螺旋机构、正弦机构、移动推杆凸轮机构
	摆动 $\longleftrightarrow$ 摆动	槽轮机构、不完全齿轮机构、空间凸轮间歇运动机构
	摆动 $\longleftrightarrow$ 移动	双摇杆机构
	移动 $\longleftrightarrow$ 移动	正切机构
	摆动 $\longleftrightarrow$ 单向间歇运动	双滑块机构、移动推杆移动凸轮机构、齿轮棘轮机构、摩擦式棘轮机构
2	变换运动速度	齿轮机构(用于增速或减速)、双曲柄机构(用于变速)
3	变换运动方向	齿轮机构、蜗杆机构、锥齿轮机构等
4	进行运动合成(或分解)	差动轮系、各种二自由度机构
5	对运动进行操纵或控制	离合器、凸轮机构、连杆机构、杠杆机构
6	实现给定的运动位置或轨迹	平面连杆机构、连杆-齿轮机构、凸轮-连杆机构、联动凸轮机构
7	实现某些特殊功能	增力机构、增程机构、微动机构、急回特性机构、夹紧机构、定位机构

③ 对机构按功能分类 在实际的机械设计时，要求所选用的机构能实现某种规律、运动形式、运动范围或速度的动作或有关功能，因此，从机械设计需要出发，可以将各种机构，按运动形式和速度规律实现的功能进行分类。在表 1-3 中简要介绍了按运动形式和速度规律等功能进行机构分类的情况。

表 1-3 机构的分类

序号	执行构件实现的运动或功能	机 构 形 式
1	匀速转动机构(包括定传动比机构、变传动比机构)	摩擦轮机构;齿轮机构、轮系;平行四边形机构;转动导杆机构;各种有级或无级变速机构
2	非匀速转动机构	非圆齿轮机构;双曲柄四杆机构;转动导杆机构;组合机构;挠性件机构
3	往复运动机构(包括往复移动和往复摆动)	曲柄摇杆往复运动机构;双摇杆往复运动机构;滑块往复运动机构;凸轮式往复运动机构;齿轮式往复运动机构;组合机构
4	间歇运动机构(包括间歇转动、间歇摆动、间歇移动)	间歇转动机构(棘轮、槽轮、凸轮、不完全齿轮等机构);间歇摆动机构(一般利用连杆曲线上近似圆弧或直线段实现);间歇移动机构(由连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、组合机构等来实现单侧停歇、双侧停歇、步进移动)
5	差动机构	差动螺旋机构;差动棘轮机构;差动齿轮机构;差动连杆机构;差动滑轮机构
6	实现预期轨迹机构	直线机构(连杆机构、行星齿轮机构等);特殊曲线(椭圆、抛物线、双曲线等)绘制机构;工艺轨迹机构(连杆机构、凸轮机构、凸轮-连杆机构等)

(2) 利用功能面分析法进行结构设计

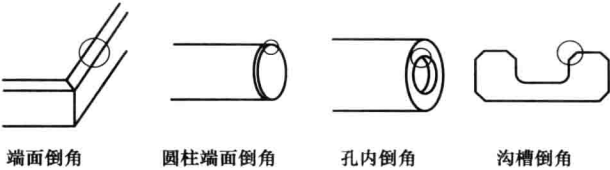
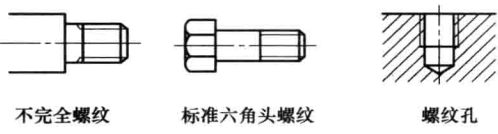
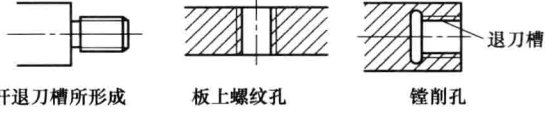
机械零件的结构设计就是将原理方案具体化。实现零件功能的结构方案多种多样，在进行机械零部件结构设计时，功能面分析法是常用的方法之一。

功能面是指机械结构中相邻零件的作用表面，例如两啮合齿轮间的啮合面、轮毂与轴的配合表面、V带传动中V带与带轮轮槽的作用表面、键连接中的工作表面等。零件的基本形状或其功能面要素是与其功能要求相对应的，表1-4列出了常用零件的基本形状及功能的对应关系。功能面可用形状、尺寸、数量、位置、排列顺序和不同功能面的连接等参数来描述，若改变功能面的参数，可以获得多种零件结构和组合变化。例如通过改变零件表面的形状，可以将直齿轮改变为斜齿轮；通过改变齿轮的模数、轴的直径等尺寸，可以获得不同尺寸的零件；通过改变螺钉头作用面的数目或几何形状，可以使其适用于不同的场合。

表 1-4 常用零件的基本形状及其功能

形状类别名称		形状图例	功能
面	接触面（平面、圆柱面、圆锥面）		配合、安装等
	滑动面（圆柱面、平面）		支承或导向
孔	圆周排列孔		安装、紧固、定位
	直线排列孔		安装、紧固、定位
	不通孔		定位或安装
	台阶孔		定位或安装
槽	导向及传递转矩槽		导向、传递转矩
	密封圈槽		安装密封圈
	导向及紧固槽		导向、紧固或安装定位

续表

形状类别名称		形状图例	功能
倒角	倒斜角	 端面倒角 圆柱端面倒角 孔内倒角 沟槽倒角	便于安装, 保护安装面, 保证操作安全
	倒圆角	 轴段间圆角 孔底圆角 沟槽圆角	减小应力集中, 提高强度
螺纹	不完全螺纹	 不完全螺纹 标准六角头螺纹 螺纹孔	用于不需将螺纹完全旋入的场合, 加工方便
	完全螺纹	 开退刀槽所形成 板上螺纹孔 镗削孔	螺纹完全旋入, 端面需接触

功能面分析法要先根据原理方案规定各功能面, 再由功能面构造出能够满足功能要求的三维实体零部件。利用功能面分析法进行结构设计的一般步骤可参见例题。

例: 已知直角阀门的原理方案示意图如图 1-1 所示, 要求对直角阀门进行结构设计。

(1) 确定直角阀门的主体结构和尺寸

由通过阀体的流量、管内压强和其他相关条件确定各管的直径、壁厚以及阀瓣的厚度和相对位置, 从而画出直角阀门的主体结构草图, 如图 1-2 所示。

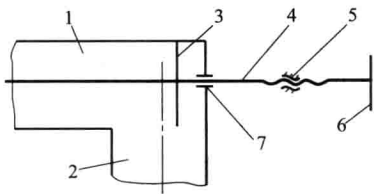


图 1-1 直角阀门结构示意图

1—水平管; 2—垂直管; 3—阀瓣; 4—螺旋阀杆;
5—螺母; 6—手轮; 7—密封

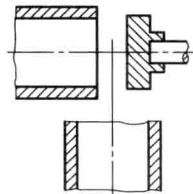


图 1-2 直角阀门主体结构

(2) 功能和功能面的分析

阀门的主功能是通过阀瓣和阀体管道端面的接合与开启实现流体的流通与封闭, 该功能面可采用平(环)面或圆锥面。阀门可通过下列各结构功能实现主功能。

- ① 阀瓣和阀杆的连接结构, 功能面可以是圆柱配合面、螺纹面等, 依连接方式而不同。
- ② 阀杆与阀体的密封结构, 功能面为阀杆柱面, 具体还取决于密封件接触形式。
- ③ 螺旋驱动结构, 功能面为螺旋面, 按摩擦形式不同可分为滑动螺旋面或滚动螺旋面。

(3) 确定阀瓣和阀杆的连接结构

阀瓣和阀杆的连接方式，可设计成刚性可拆连接和可转动连接两类，如图 1-3 所示。其中，刚性连接方式对功能面的配合精度要求较高，否则难以保证良好的密封性能；可转动连接方式能减少阀瓣的磨损和抖动，有利于提高阀门的使用性能。

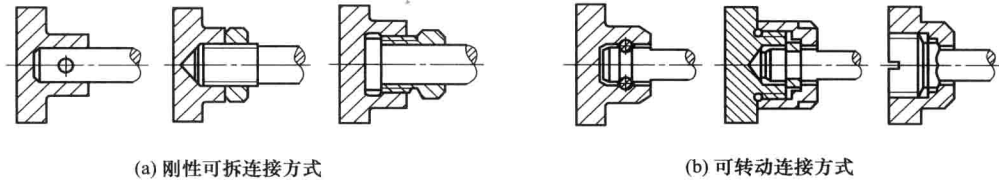


图 1-3 阀瓣和阀杆的连接方式

(4) 确定阀体与阀杆的密封结构

图 1-4 (a) 所示的接触式密封结构适用于低开启频率的阀门，图 1-4 (b) 所示的非接触式密封结构适用于高开启频率的阀门。确定采用图 1-4 (c) 所示的结构。

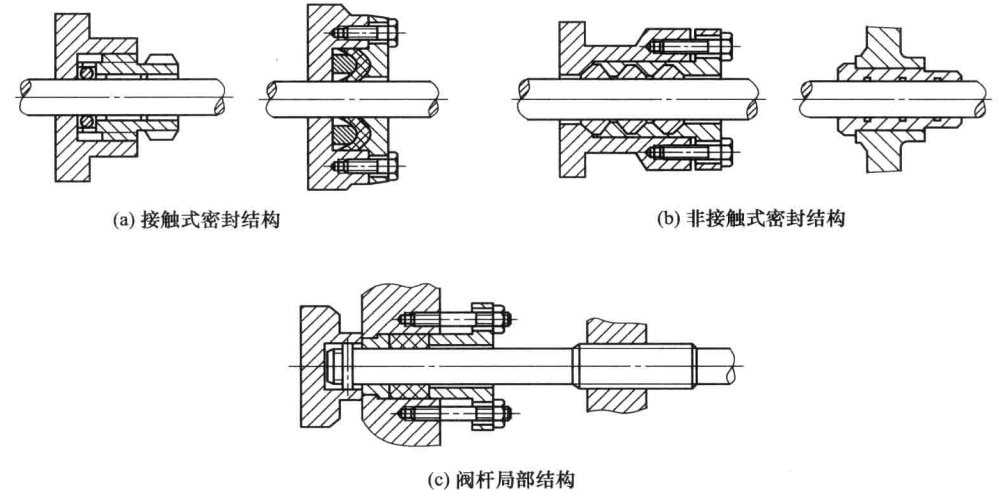


图 1-4 阀体与阀杆的密封结构

(5) 确定螺旋驱动结构

驱动结构采用图 1-5 (a) 所示的手动螺旋结构，驱动螺旋接触面采用具有自锁功能的滑动螺旋面以保证阀瓣的密闭效果，阀瓣和阀杆可相对转动，该结构较为简单，不宜采用电动驱动方式。图 1-5 (b) 所示的结构中螺母旋转，宜于采用电动驱动方式，驱动螺旋可采用滚动螺旋副结构。

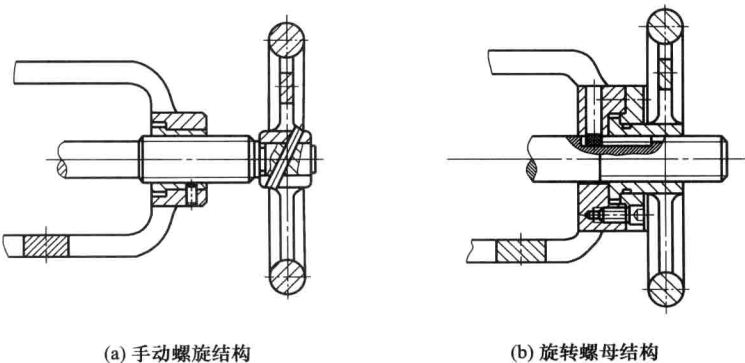


图 1-5 阀杆螺旋驱动结构

(6) 确定阀体结构

考虑到整体的密闭性和阀体内部零件的可拆装性，阀体结构采用法兰结构，如图 1-6 所示。

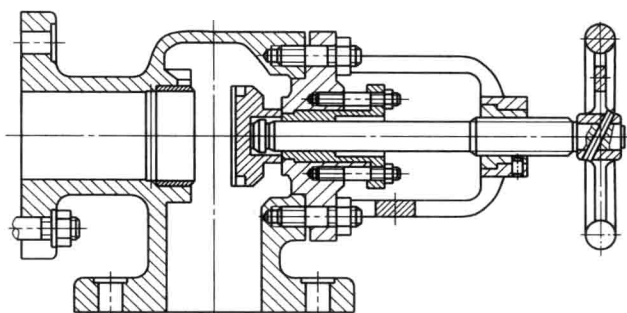


图 1-6 阀体结构

(3) 现代机械结构及功能分析示例

下面以机器人手腕的结构分析为例来对现代机械结构及功能进行分析。

通用机器人的主要机械结构可划分为基座、臂部、腕部和末端执行器（手爪）。其中，基座起支撑作用，固定式机器人的基座直接连接在地面基础上，移动式机器人的基座安装在移动机构上；臂部连接基座和腕部，主要改变末端执行器的空间位置；腕部连接臂部和末端执行器，主要改变末端执行器的空间姿态；末端执行器也称手爪部分或手部，是机器人的作业工具。

腕部确定末端执行器的空间作业姿态，一般具有三个自由度：臂转——绕小臂轴线旋转；手转——使末端执行器绕自身轴线旋转；腕摆——使手部相对臂部摆动。为实现臂转、手转和腕摆三个自由度，腕部可由三个回转关节组合而成，组合方式可多种多样。不论何种组合方式，腕部的结构设计都应满足传递运动灵活、结构紧凑轻巧、避免运动干涉等要求。

图 1-7 (a) 是某型弧焊机器人手腕部的传动简图，具有腕摆和手转两个自由度。根据原理方案设计出结构如图 1-7 (b) 所示，图中，腕摆电动机通过同步齿形带传动将动力输入腕摆谐波减速器 7，腕摆谐波减速器 7 的输出轴带动腕摆框 1 实现腕摆运动；手转电动机通过同步齿形带传动将动力输入手转谐波减速器 10，手转谐波减速器 10 的输出轴将动力传到锥齿轮 9，实现手转运动。

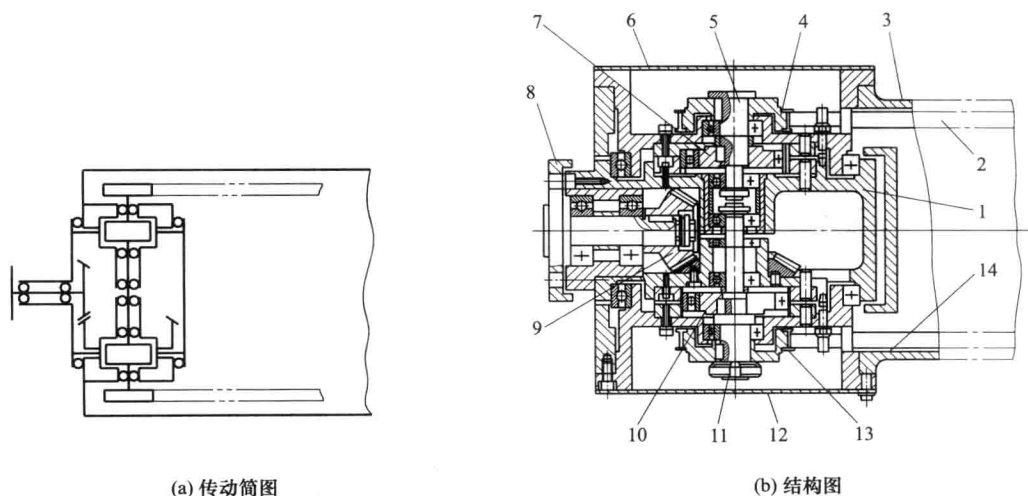


图 1-7 某型弧焊机器人手腕部

1—腕摆框；2—腕摆齿形带；3—小臂；4—腕摆带轮；5—腕摆轴；6,12—端盖；7—腕摆谐波减速器；8—连接法兰；9—锥齿轮；10—手转谐波减速器；11—手转轴；13—手转带轮；14—手转齿形带

1.2.2 满足工作能力要求的结构设计

(1) 提高强度和刚度的结构设计

为使机械零件正常工作,在设计时应保证机械零件在工作过程中的强度和刚度。因此,在设计时,首先应合理选择机械的总体方案,以使机械零件受力合理;再进行合理的结构设计,以提高机械零件的强度和刚度,满足工作能力要求。应指出的是,机械零件多在变应力状态下工作,因此在设计时,还应注意提高机械零件的疲劳强度。对高速运转或高频振动状态下工作的零件还应当计算其动态刚度。

对于一般重要的机械零件,可进行静强度计算和静刚度计算,静强度计算常包括危险截面处的拉压、剪切、弯曲和扭剪应力计算,静刚度计算主要是指相对应载荷或应力下的变形计算。静强度计算和静刚度计算与机械零件的材料及热处理、受力状态和结构尺寸密切相关。对于较重要的机械零件,还应进行疲劳强度校核,以保证在变应力状态下工作的机械零件的疲劳强度。值得说明的是,合理的计算有助于选择最佳方案,但同时也要综合考虑机械零件在加工、装拆过程中需要足够的强度、刚度及满足工艺性要求。

① 降低机械零件所承受的载荷

a. 改善零件的受力情况,降低零件的最大应力。在设计螺栓连接时,降低螺栓的刚度或增大被连接件的刚度,可以减少螺栓所受的拉力及应力幅值,有效提高螺纹连接的疲劳强度。在设计承受弯矩的心轴或转轴时,应合理布置使支承点尽量靠近载荷作用点;尽可能将集中力改变为分散力或均布载荷;尽量避免悬臂支承,不可避免时尽量减小悬臂的伸出长度,这些措施可以减少轴所受弯矩,降低弯曲应力提高强度,减少挠度提高刚度。

b. 使机械零件承受的载荷被分担或转移。将一个机械零件承受的载荷分配给几个机械零件来承受,以减少每个零件所承受载荷。在螺栓组连接的结构设计中,应使各螺栓对称分布以便各螺栓均匀分担所受载荷;在普通用螺栓连接中,采用减载元件承受横向载荷,可以提高螺栓连接的强度。在图 1-8 (a) 所示的组合弹簧结构中,将两个或多个直径不同的弹簧套在一起作为一个整体,可以承担较大的载荷。在图 1-8 (b) 所示的卸荷轮结构中,径向力和弯矩由轴承和箱体承受,轴只承受带轮传来的转矩,提高了轴的强度和刚度。

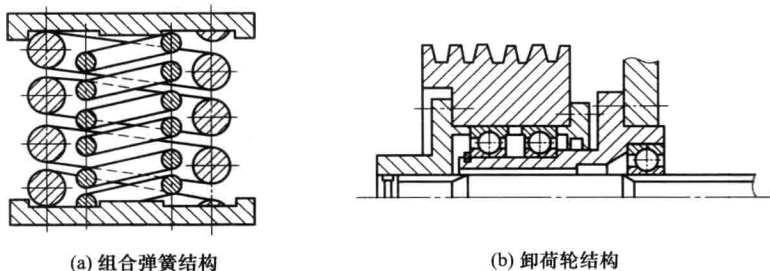


图 1-8 使机械零件承受的载荷被分担或转移的例子

c. 使机械零件所承受的载荷均匀分布。载荷均匀分布,有利于提高机械零件的强度。有时,这可以通过改变零件的形状来实现,例如对渐开线齿轮轮齿表面修形,可以改善载荷沿齿宽方向分布不均匀的现象;采用均载螺母可以改善螺纹所受载荷的分布情况。而在图 1-9 所示的行星齿轮减速器均载轴系结构中,采用了均载装置,使两个行星轮之间的载荷均匀分配。对于由于加工误差引起的不均载结构,提高加工精度是较好的解决办法。

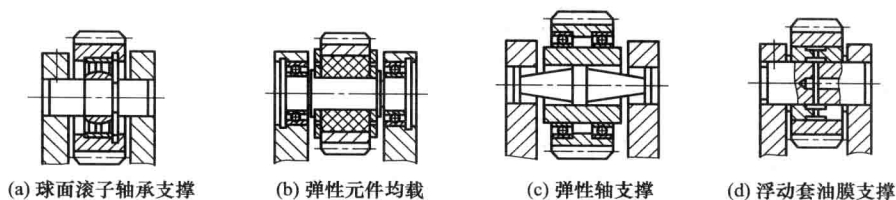


图 1-9 行星齿轮减速器均载轴系结构

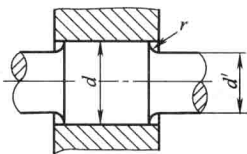
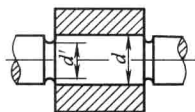
d. 采取措施使外载荷抵消或转化。采取措施使外载荷全部或部分地互相抵消。例如在传动轴系中采用人字齿轮, 则齿轮两侧齿所受的轴向力可相互抵消, 减少了轴承所承受的轴向载荷。实际中常采用反向预应力或变形结构, 通过抵消部分外载荷来提高结构的承载能力。

② 改变截面的形状和尺寸

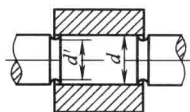
a. 采用合理的断面形状。在零件材料确定、载荷不变的情况下, 合理的结构设计, 如增大截面积, 增大抗弯、抗扭截面系数可以提高机械零件的强度和刚度。在截面积及单位长度的重量相同时, 不同的构件截面形状的抗弯截面系数和惯性矩差别很大, 其中工字梁截面的抗弯截面系数和惯性矩最大。因此, 可以通过正确选择截面形状与尺寸来提高机械零件的强度和刚度。

b. 采用加强筋或隔板。采用加强筋或隔板可提高零件、尤其是机架零件的刚度。设计加强筋时应注意: 考虑到机架常用铸造加工, 应结合材料特性使加强筋在受压状态下工作; 加强筋的高度不应过低, 否则会削弱截面的弯曲强度和刚度。

③ 降低应力集中, 提高机械零件的疲劳强度 在机械零件截面的形状和尺寸有变化处, 会产生应力集中现象。应力集中是降低机械零件疲劳强度的主要原因之一。因此, 在截面形状和尺寸有变化处, 例如阶梯轴或台阶面的交接处, 应尽量采用较大的圆角或倒角; 在有较大过盈配合处, 应采用圆锥面或斜面, 或采用图 1-10 中所示的措施; 同时, 对于承受变应力的机械零件, 应保证加工质量, 避免表面过于粗糙或有划痕。

(a) 使非配合部分的轴径小于配合的轴径($d/d' \geq 1.05$, $r \geq 0.1 \sim 0.2$)

(b) 在被包容件上加工卸载槽



(c) 在包容件上加工卸载槽

图 1-10 几种降低过盈配合处应力集中的措施

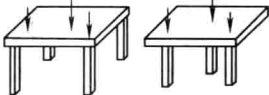
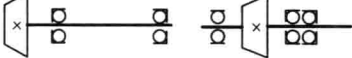
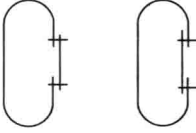
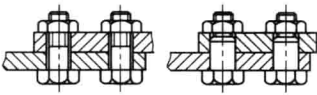
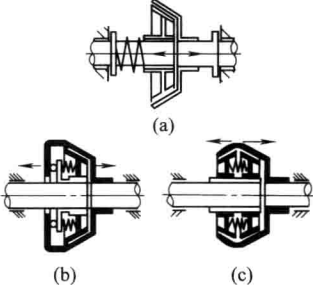
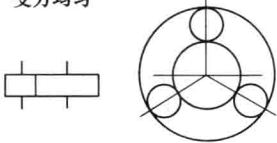
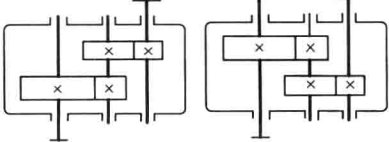
④ 利用附加结构措施改变材料内应力状态 通过附加结构措施使机械零件产生弹性强化或塑性强化可以提高零件的强度。

在进行机械零件的功能使用性能设计时, 应具体情况具体分析。表 1-5 罗列了相关的注意事项, 以供参考。

(2) 提高耐磨性的结构设计

零件过度磨损后, 尺寸将发生变化, 会影响机械零件的使用功能。设计时必须注意避免

表 1-5 零件功能使用性能设计时的注意事项

序号	设计时应注意的问题图例	分 析
1	避免受力点与支承点太远  误 正	支承点应尽量靠近受力点。图中设备三点受力，若采用四腿工作台，台面变形较大；若采用三腿工作台，将支承点设计在受力点处，则台面刚度好、无变形
2	避免悬臂结构或减少悬臂长度  原方案 改进方案	悬臂布置锥齿轮，轴的弯曲变形大、刚度差，应尽量避免。不可避免时应尽量减小悬臂伸出长度
3	利用工作载荷改善结构受力  改进前 改进后	利用容器中介质的压力压紧，减小连接件受力
4	承受横向载荷的连接应采用抗剪零件  不合理 合理	采用普通用螺栓连接承受横向载荷，在载荷一定的情况下，所需螺栓尺寸大且工作不可靠。可改用铰制孔用螺栓或使用抗剪零件
5	避免机构中的不平衡力  (a) (b) (c)	在设计机构方案时，应尽量使各零件受力平衡。图中所示圆锥离合器方案中，图(a)不能平衡轴向推力；图(b)中轴向推力转化为离合器内力，轴不承受轴向力；图(c)中轴向推力互相平衡
6	受力均匀 	大功率传动时，将定轴轮系改变为行星轮系，采用三个行星轮，体积小，受力均匀
7	减少支承件变形对传动件受力的影响  误 正	左图所示减速器中，若轴发生弯曲变形，则齿轮沿齿宽方向的载荷分布不均匀情况严重，会降低齿轮疲劳强度。应如右图所示将高速级齿轮远离动力输入端，利用高速级齿轮轴的扭转变形补偿弯曲变形，减轻载荷分布不均匀情况