

高 等 学 校 教 材
上海市教育委员会重点课程建设项目

机械结构设计

► 方 键 编著



化 学 工 业 出 版 社
教 材 出 版 中 心

高等学校教材
上海市教育委员会重点课程建设项目

机械结构设计

方 键 编著



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械结构设计/方键编著. —北京: 化学工业出版社,
2005.12

高等学校教材

ISBN 7-5025-7977-X

I. 机… II. 方… III. 机械设计: 结构设计-高等
学校-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 145963 号

高等学校教材
机械结构设计

方键 编著

责任编辑: 程树珍 陈 丽

责任校对: 洪雅妹

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15¼ 字数 407 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7977-X

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着教学改革的不深入，优秀教材层出不穷。高等工科院校机械设计制造及自动化专业的教材也在不断更新，特别是 CAD/CAM 技术、机电一体化、数控技术等方面的教材大量涌现。相比之下，机械结构设计方面的教材情况显得格外冷清，除“金属切削机床”外，其他教材较为罕见。而该专业的毕业生又普遍存在机械结构设计能力不强的状况，设计的工具、手段先进了，却画不出合理的结构来。对该专业来说，社会大量需求的是既掌握 CAD/CAM 等先进技术，又有扎实的机械结构设计基础的人才，目前的状况激起了编写本教材的热情，诚恳希望本教材能起到抛砖引玉的作用。

编写本教材时，分析了学生设计中暴露的问题，总结了多年的教学经验，同时收集参考了大量有关结构设计方面的资料。全书分两篇，共十章内容。本书的宗旨之一是，强化学生的工程知识。为此，书中提供了大量的结构图，介绍了结构设计常用的典型机构，以供学生今后灵活运用。尤其是书中列举了正反两方面的典型工程结构实例，将结构设计的原则具体化、可操作化。通过分析不合理的结构，提供前车之鉴；提出改进的设计方案，可供学生今后直接应用、触类旁通或举一反三，力求将书本知识变为学生头脑中的活概念。本书的宗旨之二是，让学生重点掌握部件结构的基本设计过程。为此，本书由简到繁，从简单的螺栓连接结构设计，到直角阀门设计，详细叙述了部件结构设计的基本过程。再以金属切削机床为切入点，讲述了部件结构设计的具体方法、步骤。教材的最后两章介绍了数控加工中心和数控车床的结构特点。这两种机床是使用较广泛，结构较典型的数控设备。本书较系统地介绍了它们的传动系统和典型结构，一方面可提高学生对现代数控设备的感性认识，另一方面有利于学生将各种新的具有通用性的机构直接运用于现代设计。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化有关专业以及各类成人教育相关专业的教材，并可提供有关工程技术人员阅读参考。

本书由方键编著。李郝林作方向性指导，并参加总体策划；徐名聪、陶本扬、王蕾参加了内容讨论，并完成部分章节的编写工作，在此，表示衷心感谢。

本教材是上海市教育委员会重点课程建设项目，教材的编写得到上海市教育委员会的关心和大力支持，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编著者
2005.10

内 容 提 要

本书为上海市教育委员会重点课程建设项目。

全书共分两篇。第一篇讲述了机械结构的内涵，基本过程；介绍了结构设计中常用的典型机构，列举了正反两面的典型工程结构实例，将结构设计的原则具体化、可操作化。第二篇则以金属切削机床为切入点，介绍机械部件的设计方法和步骤；并介绍了现代数控加工中心和数控车床的结构特点，让读者在了解先进设备的同时，掌握新的常用结构，以便在今后设计中灵活运用。

本书可作为高等工科院校机械设计制造及其自动化有关专业以及各类成人教育相关专业的教材，并可供有关工程技术人员阅读参考。

目 录

第一篇 机械结构设计的工程知识

第一章 机械结构设计导论	1
第一节 机械结构的内涵.....	1
第二节 结构设计的基本过程.....	4
第三节 结构设计的性质.....	9
第四节 结构设计的要求.....	13
习题与思考题.....	14
第二章 结构设计中常用的典型机构	16
第一节 离合器.....	16
第二节 变速传动机构.....	22
第三节 换向机构.....	38
第四节 制动器.....	39
第五节 操纵机构.....	41
第六节 保险装置.....	47
习题与思考题.....	50
第三章 典型工程结构实例	51
第一节 切削件结构实例.....	51
第二节 铸件结构实例.....	58
第三节 轴支承结构实例.....	63
习题与思考题.....	70

第二篇 机械结构设计实例——机床结构与设计

第四章 CA6140 型卧式车床的结构分析	71
第一节 CA6140 型卧式车床简介.....	71
第二节 CA6140 型卧式车床的传动系统图分析.....	72
第三节 CA6140 型卧式车床主要部件的结构分析.....	78
习题与思考题.....	88
第五章 机床主运动部件设计	89
第一节 主传动系统的运动设计.....	89
第二节 主传动的几种特殊变速方式.....	105
第三节 主运动部件结构设计.....	113
习题与思考题.....	132
第六章 主轴组件设计	134
第一节 主轴组件的功用与基本要求.....	134

第二节	主轴组件的布局	135
第三节	主轴	139
第四节	主轴轴承的选择和主轴的滚动轴承	141
第五节	主轴滑动轴承	153
第六节	主轴组件的计算	157
	习题与思考题	163
第七章	支承件设计	164
第一节	支承件应满足的要求和设计步骤	164
第二节	支承件的静力分析	164
第三节	支承件的静刚度和形状选择的原则	166
第四节	支承件的结构设计	172
	习题与思考题	178
第八章	导轨设计	179
第一节	导轨概述	179
第二节	滑动导轨	181
第三节	其他类型导轨	185
第四节	导轨的材料与热处理	191
第五节	导轨的防护	192
	习题与思考题	194
第九章	加工中心的结构特点	195
第一节	概述	195
第二节	加工中心的主传动系统	198
第三节	加工中心进给系统的机械传动机构	207
第四节	自动换刀装置简介	224
	习题与思考题	227
第十章	数控车床的结构特点	228
第一节	概述	228
第二节	数控车床的布局 and 结构特点	228
第三节	数控车床主传动方式	230
第四节	数控车床进给传动系统	232
第五节	刀架系统	233
	习题与思考题	236
参考文献		237

第一篇 机械结构设计的工程知识

第一章 机械结构设计导论

第一节 机械结构设计的内涵

机械结构设计就是将抽象的工作原理变成技术图样的过程。在此过程中要兼顾各种技术、经济和社会要求，并且应设计出尽可能多的可能性方案，从中优选或归纳出经济合理的方案。

机械结构设计，以下简称结构设计，可分为下述三个方面：

(1) 功能设计 为满足主要机械功能要求而进行的设计；

(2) 质量设计 兼顾各种要求和限制，提高产品的质量和性能价格比；

(3) 优化设计和创新设计 用结构设计变元等方法系统地构造优化设计解空间，用创造性设计思维方法和其他科学方法优选和创新。

结构设计是将抽象的工作原理具体化为某类构件或零部件的图样，然后进一步确定它们

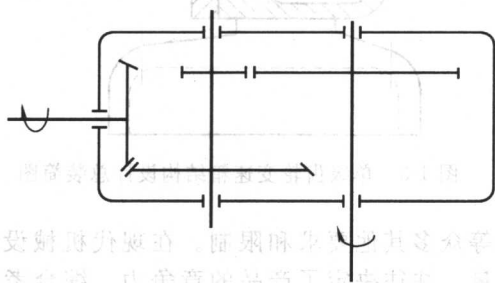


图 1-1 两级齿轮减速箱的工作原理

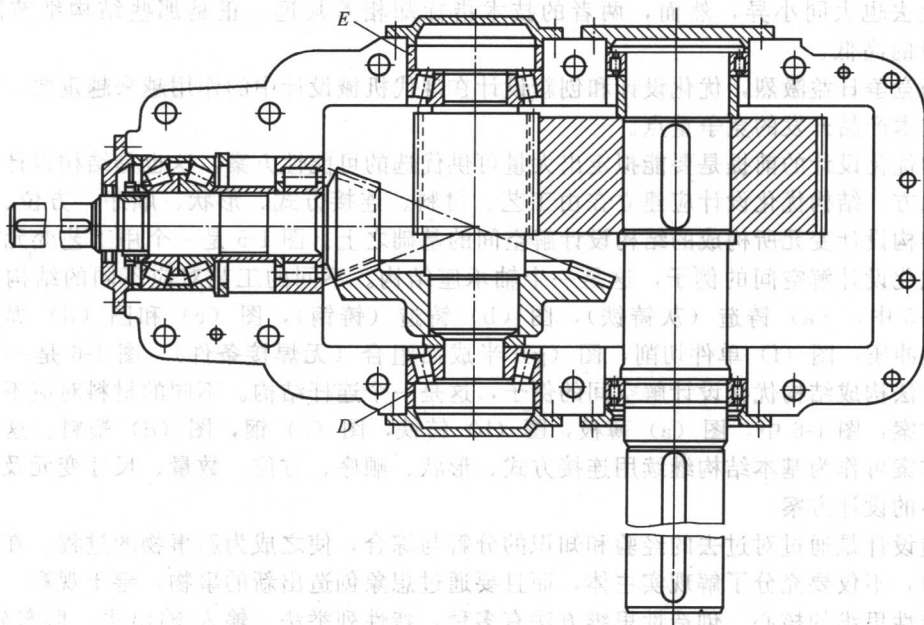


图 1-2 两级齿轮减速箱结构设计总装简图

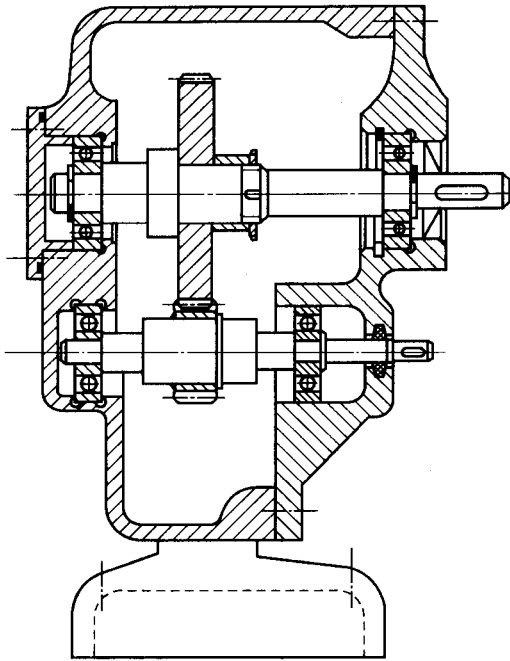


图 1-3 单级齿轮变速箱结构设计总装简图

的加工工艺、材料、几何尺寸、公差等。图 1-1 是一个两级齿轮减速箱的工作原理图。该减速箱的传动比是 6 : 1, 传递功率是 92kW, 主动轴转速是 1500r/min。图 1-2 是图 1-1 所对应的结构设计总装简图 (此处省略了尺寸、公差等技术参数)。

由此例可见, 若把结构设计过程当作一个黑箱, 那么它的输入是工作原理, 输出是结构设计方案。结构设计是工作原理在技术上的具体化。因此, 一定的工程知识是正确地进行结构设计的前提。图 1-3 也是一个齿轮变速箱的结构总装简图, 它的工作原理很简单: 只有一对直齿轮。但按此设计方案造出的变速箱只能是废铁一堆, 因为其上有 20 余处设计错误或缺陷。这些错误对一个缺乏工程知识的设计者来说是不易事先察觉的。

结构设计不仅要使构件满足实现其工作原理的要求, 还要考虑力学、工艺、材料、装配、使用、美观、成本、安全、环

保等众多其他要求和限制。在现代机械设计中, 后者越来越重要, 并直接关系到产品的质量, 往往决定了产品的竞争力。综合考虑各种要求, 提高产品的质量, 是现代机械设计的关键所在。与考虑工作原理相比, 考虑各种要求似乎只是设计细节上的问题, 然而, 细节的总和是质量。提高质量应始于设计。图 1-4 是一铸件, 左右两边结构是对应于同一设计任务的两种结构设计方案。它们都能满足构件的功能要求, 工艺、材料完全相同, 结构看上去也大同小异, 然而, 两者的技术指标却相差甚远, 正是那些结构细节决定了产品质量的高低。

市场竞争日益激烈, 优化设计和创新设计在现代机械设计中的作用越来越重要, 它们将是未来技术产品开发的竞争重点。

结构优化设计的前提是要能拟定出大量可供优选的可能性方案, 这也是结构设计最具创造性的地方。结构优化设计应建立在由工艺、材料、连接方式、形状、顺序、方位、数量、尺寸等结构设计变元所构成的结构设计解空间的基础之上。图 1-5 是一个用工艺变元方法构成结构优化设计解空间的例子, 这是一个轴承座结构。不同的工艺对应不同的结构设计方案: 图 1-5 中, (a) 铸造 (灰铸铁), 图 (b) 铸造 (铸钢), 图 (c) 和图 (d) 焊接, 图 (e) 薄板冲压, 图 (f) 单件切削, 图 (g) 半成品组合 (无焊接条件)。图 1-6 是一个用材料变元方法构成结构优化设计解空间的例子, 这是一个连杆结构。不同的材料对应不同的结构设计方案: 图 1-6 中, 图 (a) 薄板, 图 (b) 铸铁, 图 (c) 钢, 图 (d) 塑料。这些不同的结构方案可作为基本结构继续用连接方式、形状、顺序、方位、数量、尺寸变元及其组合构造更多的设计方案。

创造设计是通过对过去的经验和知识的分解与综合, 使之成为新事物的过程。在工程设计过程中, 不仅要充分了解现实主体, 而且要通过想象创造出新的事物, 善于观察、善于思考是创造性思维的核心。创造性思维方法有多种: 特性列举法、输入-输出法、形态分析法、触发词法、类比法、检验表法、智囊团法等。

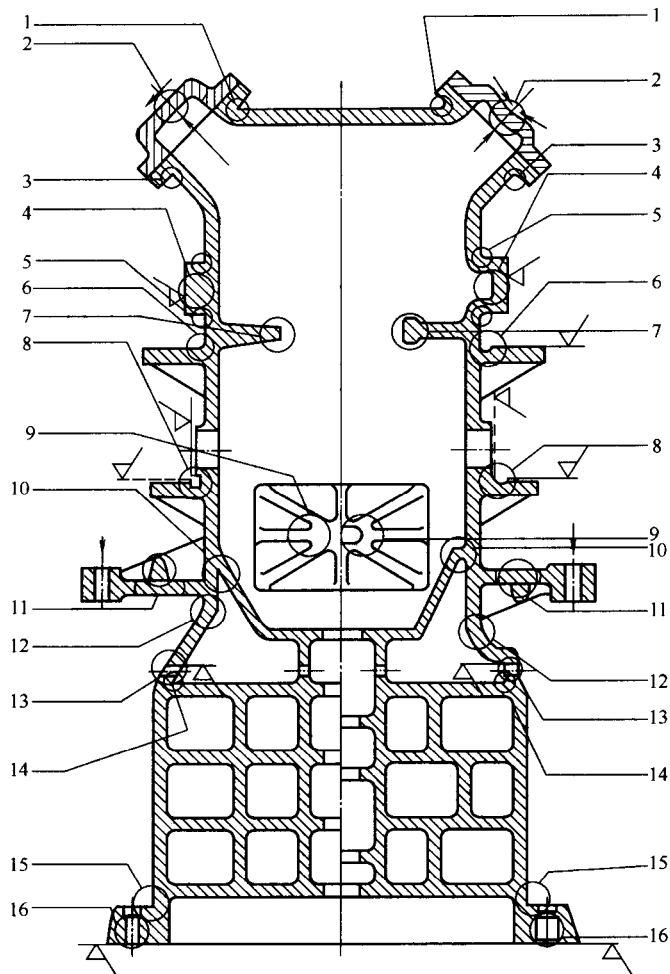


图 1-4 铸件的两种结构方案

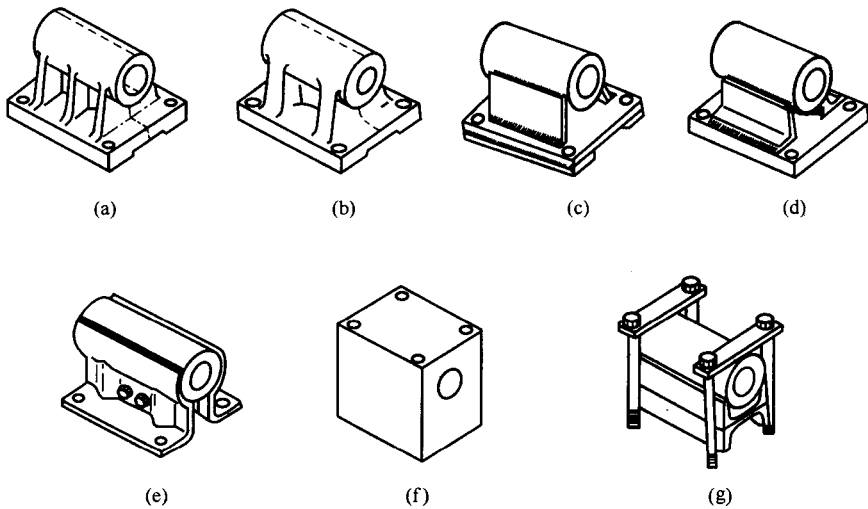


图 1-5 轴承座的不同结构方案

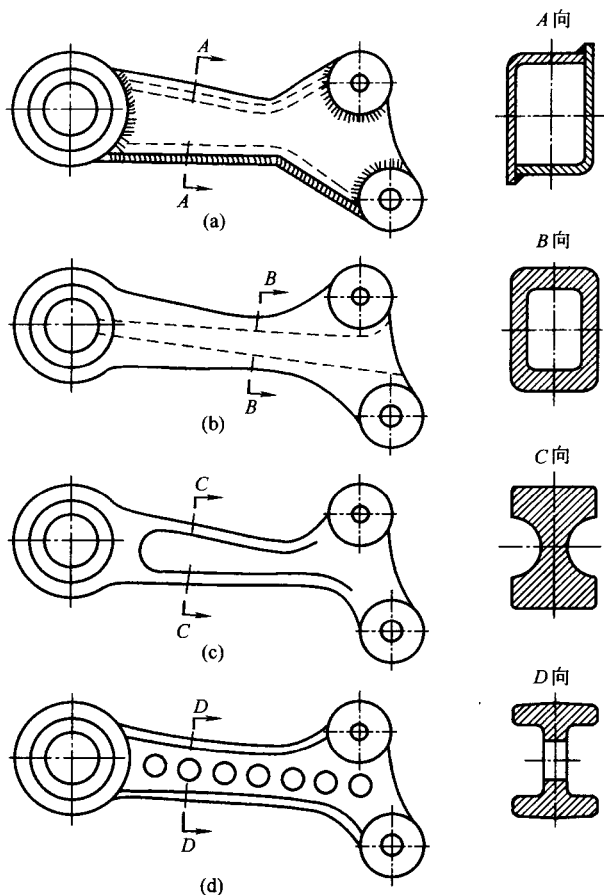


图 1-6 连杆的不同结构方案

综上所述，机械结构设计涉及到下列 4 个方面的内容：功能设计、质量设计、优化设计、创造性思维方法等。本课程将侧重学习功能设计和质量设计方面的内容。即学习结构设计的基础内容，包括学习结构设计的基本原则，了解结构设计的步骤、方法等。要求学生重点掌握机械构件或部件的基本结构图样的设计过程。

第二节 结构设计的基本过程

本节介绍结构设计过程的基本原则和基本步骤，并通过两个实例对结构设计过程进行概略的了解。

结构设计过程的基本原则是：从内到外、从重要到次要、从局部到总体、从粗略到精细、统筹兼顾，权衡利弊，反复检查，逐步改进。

结构设计的基本步骤可归纳为：

- i. 明确待设计构件或部件的主要任务和限制；
- ii. 粗略估算构件的主要尺寸；
- iii. 寻找标准件、常用件、通用件等，在设计中尽量采用；
- iv. 画基本结构草图；
- v. 用变元的方法，系统地产生新方案，按技术、经济和社会指标评价，选择最佳方案；
- vi. 寻找所选方案中的缺陷和薄弱环节，对照各种要求、限制，反复改进；

- vii. 强度、刚度以及各种功能指标验算；
- viii. 绘制装配图和零件图；
- ix. 编制技术文件。

结构设计中各种具体情况差别很大，基本步骤需要灵活掌握。

下面列举两个结构设计实例来说明结构设计的过程。这里重点突出基本结构草图的设计过程，其他设计步骤都略去。

第一个例子是螺栓连接结构设计，即两个壁厚为 δ 的壁需用螺栓连接，见图 1-7 (a)。

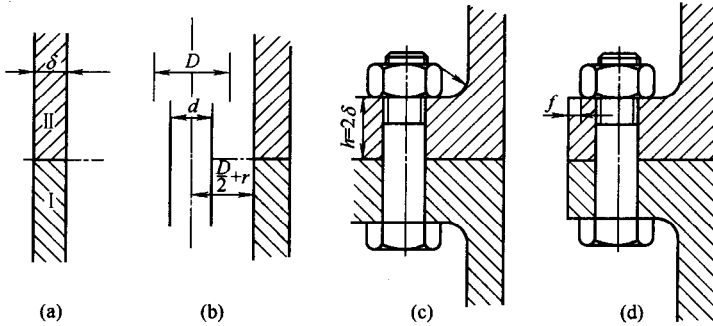


图 1-7 螺栓连接结构

首先确定螺栓的直径 d 。 d 由螺栓所要承担的载荷根据计算或经验确定，一般来说 $d = 1.25\delta$ ，然后确定螺栓离壁外表面的距离。为此，需要先明确螺栓头的直径 D ，壁面和法兰过渡区半径 r 。 D 由 d 确定，有标准可查。 r 根据经验约为一半壁厚。所以螺栓轴心到壁厚的距离是 $\frac{D}{2} + r$ [见图 1-7 (b)]。接着确定法兰厚度 h ，这里取 $h = 2\delta$ ，这样便可按标准画螺栓和螺母 [见图 1-7 (c)]。法兰宽度根据螺母、螺栓头大小以及一定的余量 f 确定， f 主要根据铸件精度和构件大小而定。螺栓和法兰之间要留有间隙，具体数值根据规范确定。此外，不应忘记倒角，见图 1-7 (d)。

第二个例子是直角阀门结构设计。

由于生产批量大，材料用铸铁。已知管径为 d [见图 1-8 (a)]，管壁厚为 δ ，管内压 p ，基本结构草图的设计过程如下所述。

(1) 画主要工作面草图 [见图 1-8 (a)] 确定阀门材料、阀门完全打开时的间距 s 和阀瓣厚度 b 。 M 为管 1 和管 2 的轴心线的交点。在阀门完全打开时，流体的压力损失应尽量减少。鉴于流体流动方向不完全是半径方向，而是倾斜的 [见图 1-8 (b)]，根据经验取 $s = (0.4 \sim 0.5)d$ 。

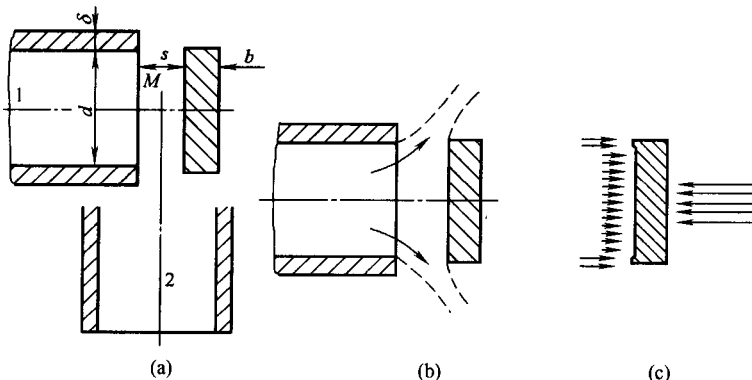


图 1-8 直角阀门主要工作面草图

然后确定阀瓣厚度 b 。阀瓣在完全关闭时承受最大载荷，全部水压作用于内侧面 [见图 1-8 (c)]。可根据圆板弹性理论或经验确定阀瓣厚度 b 。

(2) 确定阀杆的尺寸 阀杆的受力情况比较复杂，阀门关闭时，阀杆受静压作用；属于纯粹的屈曲失稳问题。较危险的情况是半关闭状态，这时阀杆所承受的部分力来自不对称流体的冲击，部分力来自涡流。此外，阀杆受力情况还和阀门的驱动方式有关（手动、机械驱动或是液压驱动），不同的驱动方式，阀瓣开启、关闭的缓急程度各异，从而导致阀杆的附加载荷不同。阀杆的尺寸必须根据具体情况而定。这里根据经验为阀杆选定一个直径（见图 1-9）。

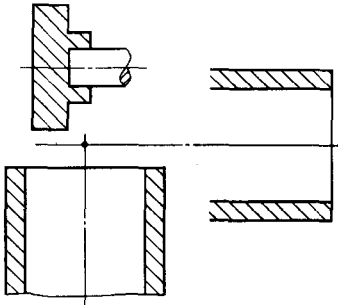


图 1-9 确定阀杆直径

(3) 确定阀瓣和阀杆的连接方式 良好的密封性能对于此类阀门来说是重要的。因此，阀杆和阀瓣之间的连接不宜采用固定的连接方式。因为刚性连接方式难以保证阀瓣盖自由地贴合在密封面上。此外，因阀瓣通过

旋转阀杆而驱动，所以阀瓣和阀杆之间必须是可以相对转动的，否则会出现抖动和磨损。图 1-10 列出了 3 种可转动可调节的连接结构设计方案，这里采用第一种结构。见图 1-11。

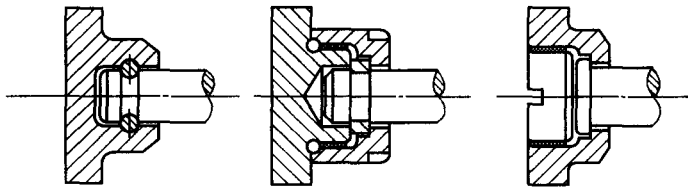


图 1-10 阀瓣和阀杆的 3 种连接方案

(4) 设计阀杆和壳体之间的密封结构

密封结构的设计也要考虑多种情况，例如阀杆是如何驱动的，阀门开关的频率。偶尔开关一次的阀门和 50 次/s 开关的阀门，密封方案是完全不一样的。

图 1-12 是两种常见的接触式密封结构，它适用于有足够大驱动力和低频运动的场合。而本例属于高频运动的摩擦面，在这类情况下应优先采用非接触式密封结构（见图 1-13）。但这种结构的缺点是容易产生泄漏，改进方法是减少间隙以减低泄漏量，这样，阀杆和套筒配合的高精度要求，使得它们必须和其他密封零件区分开来，单独加工。这里采用图 1-14 所示的结构。

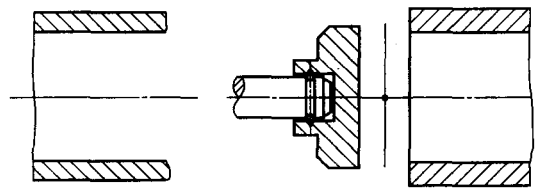


图 1-11 选定的阀瓣阀杆连接方式

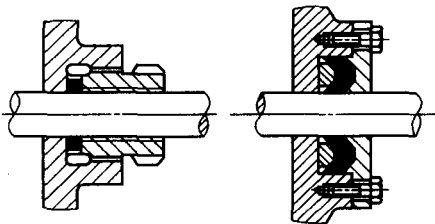


图 1-12 接触式密封结构

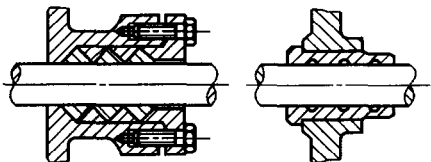


图 1-13 非接触式密封结构

(5) 设计驱动结构装置 如前所述, 这也有多种可能, 例如, 杠杆和凸轮机构或液压伺服马达等。为简单起见, 这里只讨论螺栓螺母驱动结构 (见图 1-15)。

这种结构又可分为旋转阀杆驱动和旋转螺母驱动两种结构 (见图 1-16 和图 1-17)。这两种结构都是常见的, 第一种情况旋转的手轮位于阀杆的顶端; 第二种情况手轮位于螺母上。显而易见第一种结构比较简单, 不过它适用的前提是阀瓣和阀杆的连接必须是可相对转动的。这个结构的缺点是: 旋转时, 手轮有阀杆长度方向的运动, 这就排除了用齿轮代替手轮, 进而用电动机驱动的可能性, 而第二种结构是可以这样做的。两种情况下, 都要求驱动装置和密封结构之间要有足够的距离, 以便更换密封磨损件 (见图 1-18)。

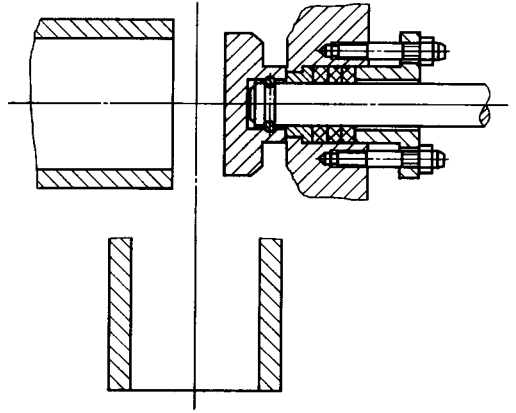


图 1-14 选定的密封结构

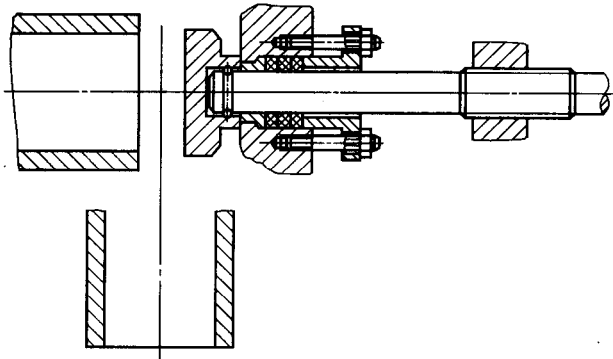


图 1-15 螺栓螺母驱动结构

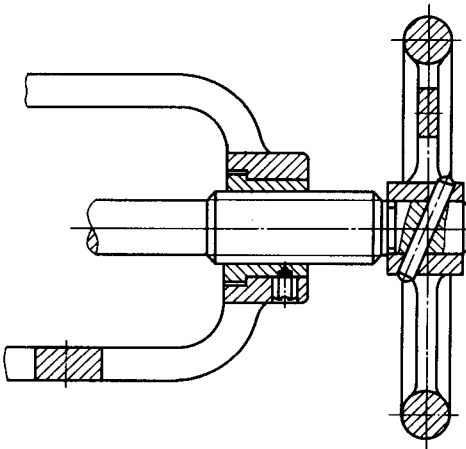


图 1-16 旋转阀杆驱动

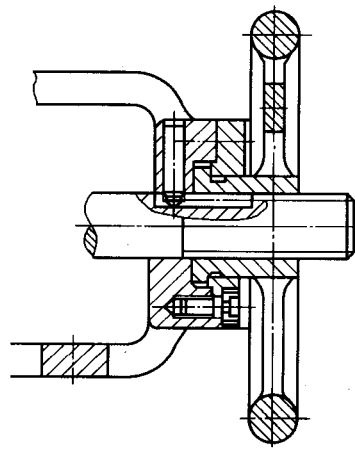


图 1-17 旋转螺母驱动

(6) 设计阀门盖和管端密封面的结构 这里选用金属密封, 因为它可以耐 600°C 高温, 对压力大小几乎无限制。密封面越狭窄 (1~2mm), 密封效果越好。由于密封面在使用过程中

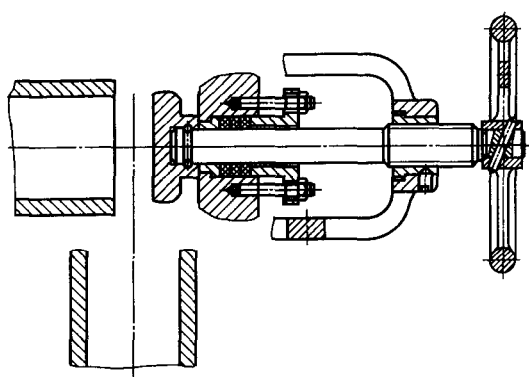


图 1-18 确定驱动装置和密封结构的距离

中会遭受磨损，因此，让它凸出端面一些。密封面很难在铸铁管上直接加工，为此，在管内侧附加一个特别环，称为阀门座，阀瓣上附加类似构件（见图 1-19）。

(7) 设计阀体 这个壳体不能让流体流出，即它必须是全封闭的。但它又不能是整体的，否则，阀瓣等内部部件无法组装。因此，壳体一部分设计成可拆卸的盖子。平板结构的刚度较低，所以盖子的厚度要大于壳体的厚度。盖子除了要承受流体压力外，还要承受驱动装置的载荷。壳体结构见图 1-20。

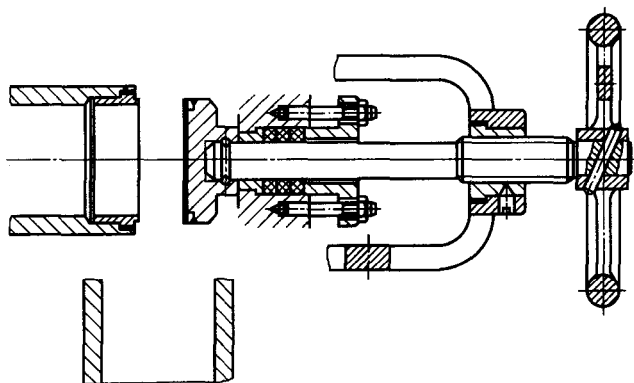


图 1-19 阀门座和阀瓣附加件

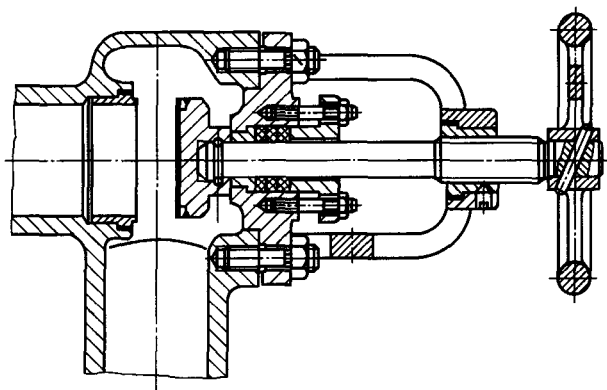


图 1-20 设计壳体结构

(8) 设计阀门和管道的连接结构 此处最合适的连接结构是法兰螺栓结构。法兰应尽可能地靠近中心点 M ，以节省材料。至此，得到了一个阀门的基本结构草图，见图 1-21。加上必要的尺寸，公差等技术数据，就是完整的加工图样。整个结构设计过程的顺序走向见图 1-22。

设计基本结构草图，常常是先画工作面草图，然后在工作面之间填材料（即着手设计），

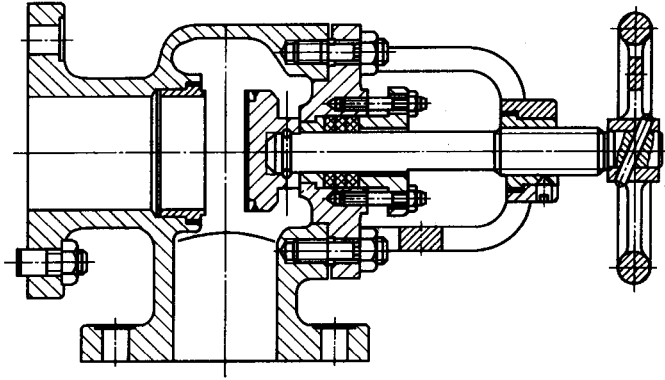


图 1-21 阀门结构草图

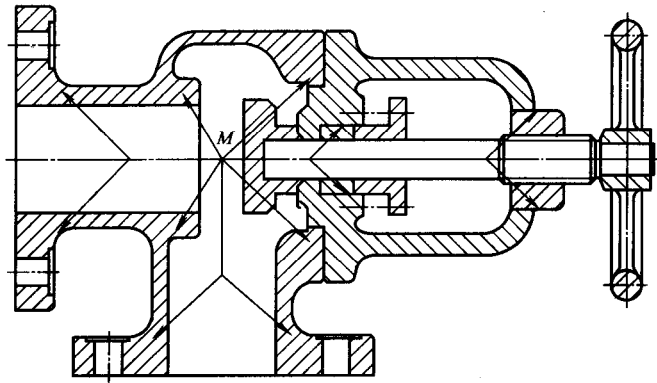


图 1-22 设计过程走向图

逐步扩展设计，从局部到总体。在此过程中，通过改变工作面的大小、方位、数量及构件材料、表面特性、连接方式等，不断比较各种可能的结构，选择最佳方案。

第三节 结构设计的性质

一、结构设计不是简单重复的操作性工作，而是创造性的工作

工程知识是从事结构设计工作的前提，巧妙组合是结构设计创造性的核心。下面以一个超载保护装置的结构设计为例，展示结构设计的创新空间和优化潜力。

图 1-23 是一偏心轮连杆机构。主动轴 1 通过偏心轮 2 驱动连杆头 3，连杆 4 将运动传输给摇臂 5，继而驱动从动轴 6。要求设计一个功能可靠、制造方便的过载保护装置。它可使

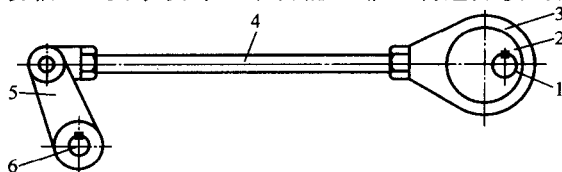


图 1-23 偏心轮连杆机构

1—主动轴；2—偏心轮；3—连杆头；4—连杆；5—摇臂；6—从动轴

得当从动轴 6 过载时，其上的运动和力的传递中断，但主动轴仍可继续运转。此外，要求过载中断以后，该装置容易被恢复到先前的状态。过载精度为 $\pm 3\%$ ，主动轴转速 50r/min ，转矩 $400\text{N}\cdot\text{m}$ ，生产批量 2 台。

在此偏心轮连杆机构中设置过载保护装置的设计方案有许多。从功能结构层次上来看，可将过载保护装置安置在不同的构件上，这里只讨论过载保护装置安置于主动轴的情况。从物理原理层次上看，有机械式、电动式、液压、气压式和磁力式等多种。这里只讨论最简单的机械式。尽管如此限制设计方案空间，仍可得到 8 种基本结构设计方案（见图 1-24~图 1-31）。

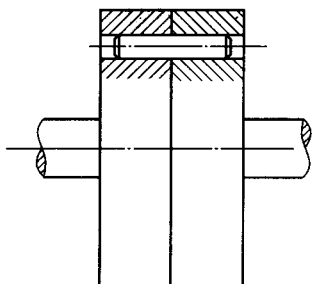


图 1-24 过载保护结构方案一

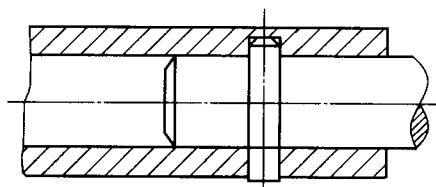


图 1-25 过载保护结构方案二

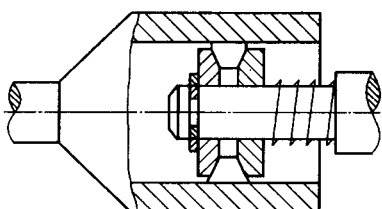


图 1-26 过载保护结构方案三

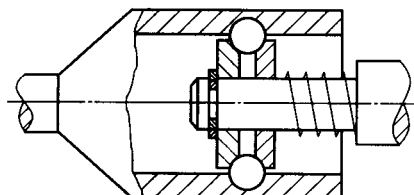


图 1-27 过载保护结构方案四

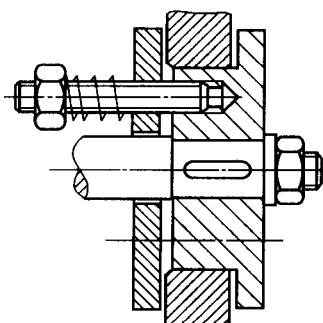


图 1-28 过载保护结构方案五

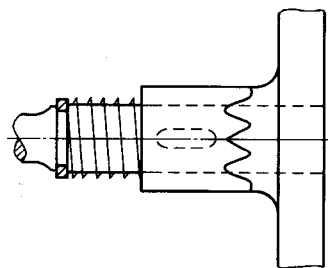


图 1-29 过载保护结构方案六

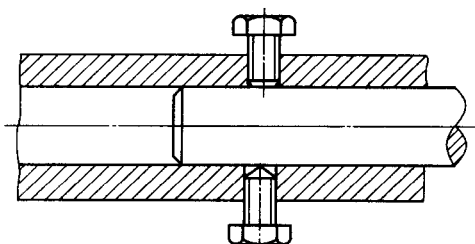


图 1-30 过载保护结构方案七

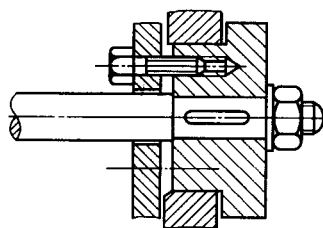


图 1-31 过载保护结构方案八