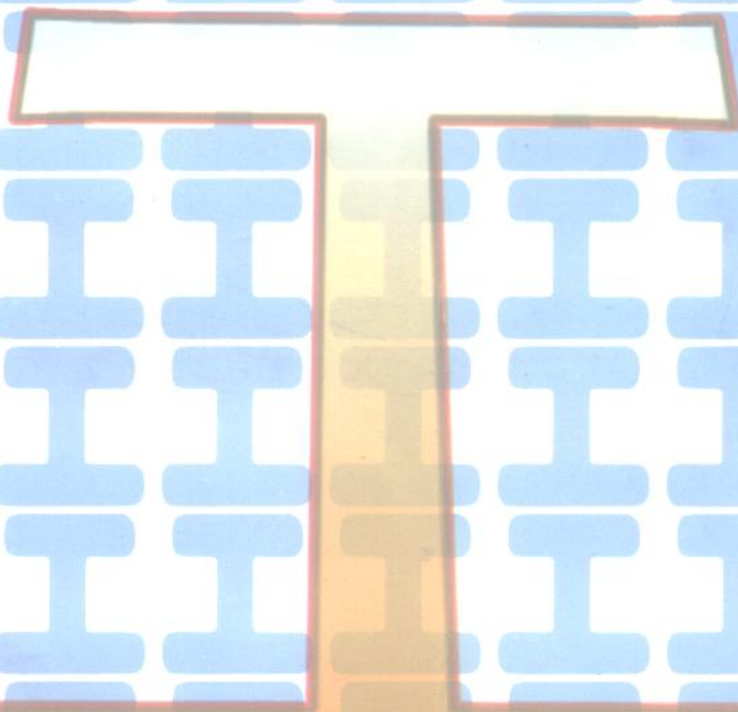


机械结构设计准则及实例

杨文彬 著



机械工业出版社

机械结构设计准则及实例

杨文彬 著



机械工业出版社

本书是作者经过潜心研究,密切联系工程实际,结合逾千结构设计图例,系统地提出了“工”型理论思想的一个实践结果。书中系统地探讨了把结构设计作为一门工程学科来研究的一些基本问题,如结构设计的内涵、性质、过程及结构的优化和创新设计等,进而阐述了结构设计学的基本框架及如何构造结构设计准则,并用准则的方法从力学、工艺、材料、装配、防腐、支承、公差、安全、美观、维修、生理、环保、成本等方面系统地进行现代结构设计研究。

本书共分10章,第1章为导论,第2~10章结合大量正反两方面工程实例介绍这个准则系统主要内容。

本书注重实例,结合实际,易学易懂,可供从事结构设计的技术人员及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械结构设计准则及实例 / 杨文彬著. - 北京: 机械工业出版社, 1997. 12.
ISBN 7-111-05782-1

I. 机… II. 杨… III. 机械设计: 结构设计 IV. TH122

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第12307号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑: 沈红 版式设计: 张世琴 责任校对: 张媛
封面设计: 赵京京 责任印制: 卢子祥
北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
1997年12月第1版第1次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·8.625印张·224千字
0 001—3 000册
定价: 19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

这是一本密切联系工程实际、结合逾千结构设计图例系统地论述机械结构设计的书。

机械结构设计是一种既要求多学科基础理论，更要求工程知识和实践经验的蕴藏着巨大优化和创新潜力的工作。它是机械设计的主要组成部分，在整个机械设计过程中，平均约 80% 的时间用于结构设计。结构设计是机械设计师必备的基本技能，然而，系统地对结构设计进行研究的却极少见，有关结构设计的论著更是寥若晨星。长期以来，有关结构设计的知识主要靠机械设计师自己在工作实践中摸索积累，显然个人的实践范围毕竟很有限，仅靠感性经验会极大地限制机械设计师的视野和创造力，特别在新技术层出不穷、设计问题越来越复杂的今天其局限性更明显。因此，将有关机械结构设计的感性经验上升为理性知识，从而建立机械结构设计学是现代机械工程技术发展的客观要求。

在本书第 1 章中，作者系统地探讨了把结构设计作为一门工程学科来研究的一些基本问题，诸如结构的内涵、性质、过程、要求以及结构的优化和创新设计，提出了什么是结构设计学的基本框架，什么是结构优化设计的解空间和如何构造结构设计准则等命题，并对此初步地阐述了作者的观点。

以主要满足机械结构功能要求为特征的机械设计时代已过去了，现代机械结构设计还要同时顾及多种技术、经济和社会要求，困难在于如何将这一现代机械设计思想具体化为实用的工程方法。作者用结构设计准则的方法，从力学、工艺、材料、装配、防腐、支承、公差、安全、美观、维修、生理、环保、成本等方面系统地进行现代结构设计研究，从而创立了结构设计准则系统。在本书第 2 章~第 10 章中，结合大量正反两方面工程实例介绍这个

准则系统的主要内容。

注重工程实践和应用效果是作者写作此书和研究建立机械结构设计学孜孜以求的目标。从实践中来，在整理大量结构设计经验的基础上找规律，不在闭门造车的数理模型里做“学问”。1888年，进化论创始人达尔文为科学下过这样的定义：“科学就是整理事实，从中寻找规律、下结论”。工程科学研究的基本宗旨是为工程实践提供理论指导，因此，它必须解决应用场合和应用切入点问题，否则，开花易结果难。在知识爆炸的信息时代，没有应用效果的工程科学研究成果易遭科学垃圾之厄运。

本书也是对作者提出的“工”型理论思想的一个实践。工程教育应以工程素养的培养为本质特征；工程科学研究应以工程实践为来源和归宿。

本书得益于德国世界领先的设计学研究成果和丰富的工程资料，特别是下列几位德国设计学研究者的卓越工作：W. Jorden, A. Leyer, R. Koller, G. Pahl, W. Beinz, H. Steinwachs, K. Erlen-spiel, K. Bode, H. Hintzen, W. Rodenacker, Matousek.

理解和熟记书中的准则并不难，但要真正地掌握它必须通过反复实际应用。准则应是行动的指南，不应是僵死的教条，理解别人的设计和自己设计，这之间有质的差别，因此，对书中的结构实例的有效学习方法是：在看别人的设计方案前自己先实践。

毫无疑问，这一设计准则系统还有待于充实、完善，书中的诸多论点也只是作者一家之说，旨在抛砖引玉，欢迎商榷。

作者学识有限，书中错误缺陷在所难免，诚请读者赐教。

杨文彬

1996年12月24日于德国 Paderbom

目 录

前 言

第 1 章 机械结构设计导论	1
1 机械结构设计的内涵	1
2 结构设计的基本过程	8
3 结构设计的性质	17
4 结构设计的变元	26
5 结构设计的要求	50
6 结构设计准则方法及系统	52
第 2 章 符合力学要求的结构设计准则	56
1 引言	56
2 结构设计准则	57
第 3 章 符合工艺要求的结构设计准则	81
1 焊接件结构设计准则	81
2 铸件结构设计准则	88
3 切削件结构设计准则	98
4 锻件结构设计准则	112
5 薄板件结构设计准则	119
第 4 章 符合材料要求的结构设计准则	134
1 引言	134
2 符合热胀冷缩性质的结构设计准则	135
3 塑料件结构设计准则	140
4 陶瓷件结构设计准则	162
第 5 章 符合装配要求的结构设计准则	178
1 引言	178
2 结构设计准则	178
第 6 章 符合防腐要求的结构设计准则	202
1 问题的提出	202
2 防腐的基本方法	202

3 防腐结构设计准则	204
第7章 符合公差要求的结构设计准则	217
1 引言	217
2 结构设计准则	217
第8章 符合支撑要求的结构设计准则	227
1 引言	227
2 轴支撑结构设计准则	227
第9章 符合安全要求的结构设计准则	243
1 引言	243
2 结构的安全设计准则	243
第10章 符合美观要求的结构设计准则	257
1 引言	257
2 造型设计准则	257
3 颜色设计准则	263
参考文献	265

第 1 章 机械结构设计导论

1 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。此间要兼顾各种技术、经济和社会要求，并且应系统地设计出尽可能多的可能性方案，从中优选。

机械结构设计，以下简称结构设计，可分为三个方面：

(1) 功能设计 为满足主要机械功能要求，在技术上的具体化。

(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，它是现代工程设计的特征。

(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它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，然后进一步确定它们的加工工艺、材料、几何尺寸、公差等。图 1-1 是一个两级齿轮变速箱的工作原理图。该变速箱的传动比是 $6:1$ ，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图(此处省略了尺寸、公差等技术参数)。

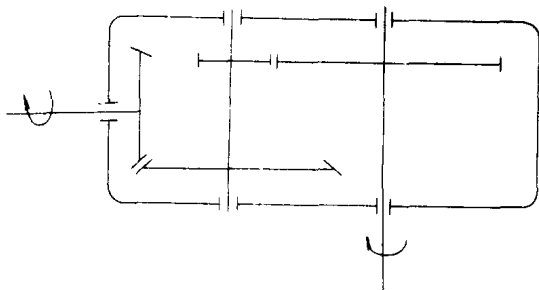


图 1-1 两级齿轮变速箱工作原理图

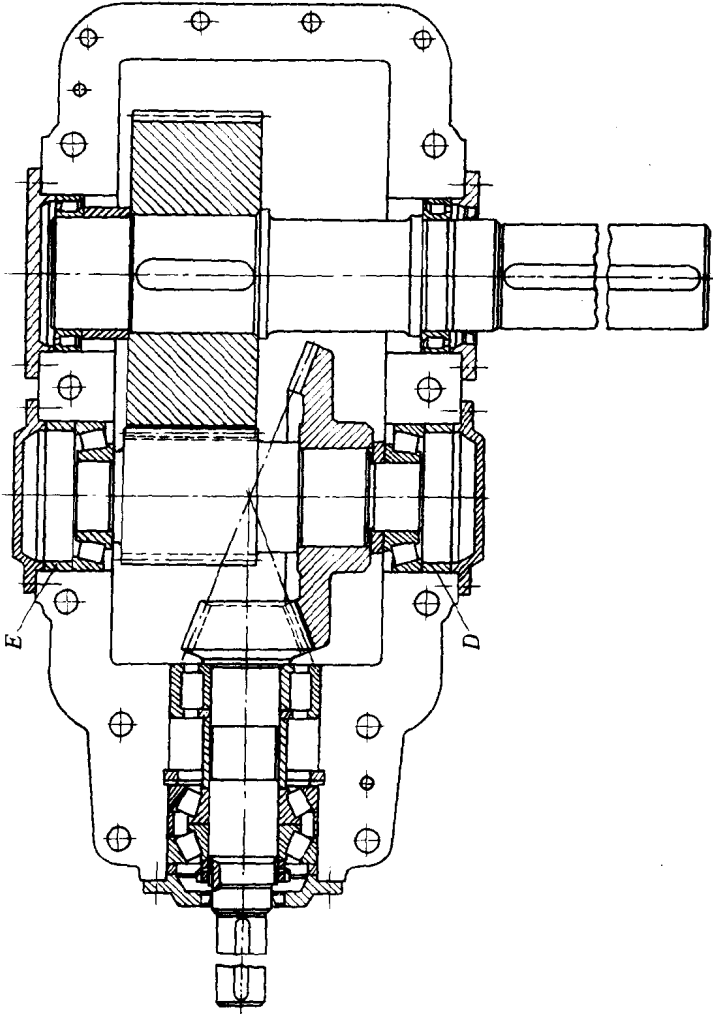


图 1-2 两级齿轮变速箱结构设计总装简图

从此例可见，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。结构设计的直接产物虽是技术图纸，但结构设计工作不是简单地机械制图，图纸只是表达设计方案的语言。技术上的具体化是结构设计的基础内容，是机械设计师必备的基本技能，同时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。重视这种道理浅显但影响重大的实际问题是每个工程师应牢固树立的工

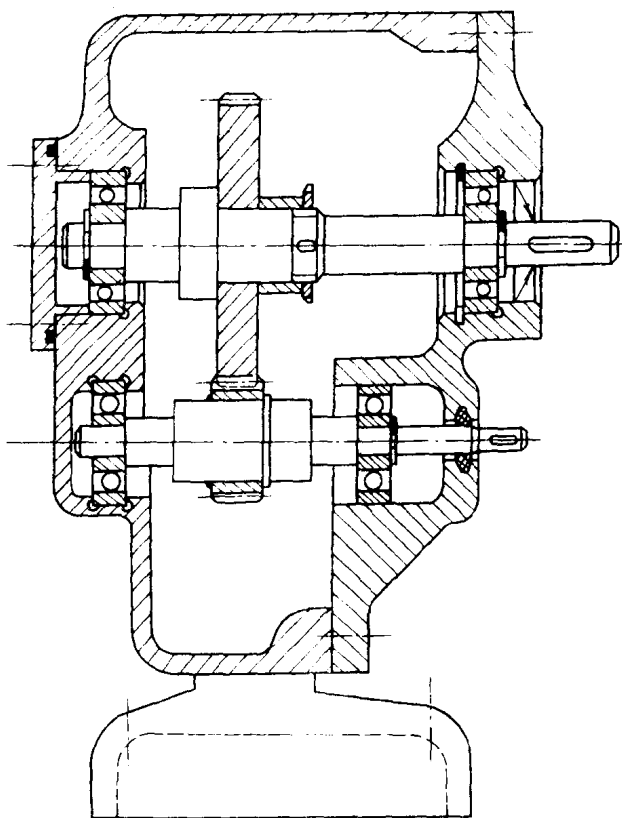


图 1-3 单级齿轮变速箱结构设计总装简图

程观念。此外，这些错误对一个缺乏工程知识的设计者来说是不易事先觉察的。

结构设计不仅仅是简单的工作原理具体化的过程。因为结构设计不仅要使构件满足实现其工作原理的要求，还要顾及诸如力学、工艺、材料、装配、使用、美观、成本、安全、环保等众多其它要求和限制。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。那种只满足主要技术功能要求的机械设计的时代已过去了。统筹兼顾各种要求，提高产品的质量，是现代机械设计的关键所在，也是我国机械设计领域当前和今后相当一段时期内必须解决的主要问题。与考虑工作原理相比，兼顾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，现代技术产品的竞争焦点不是其工作原理，而是其技术指标。产品质量问题不仅仅是工艺和材料的问题，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。

对产品质量的提高永无止境，市场的竞争日益激烈，需求向个性化发展，因此，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焦点。

结构优化设计的前提是要能构造出大量可供优选的可能性方案，即构造出大的优化求解空间，这也是结构设计最具创造性的地方。结构优化设计目前基本仍局限在可用数理模型描述的那类问题上。而更具潜力、更有成效的结构优化设计应建立在由工艺、材料、联接方式、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 1-5a 铸造（灰铸铁），b 铸造（铸钢），c 和 d 焊接，e 薄板冲压，f 单件切削，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：a 薄板，b 铸铁，c 钢，d 塑料。这些不同的结构方案可作为基本结构继续用联接方式、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。

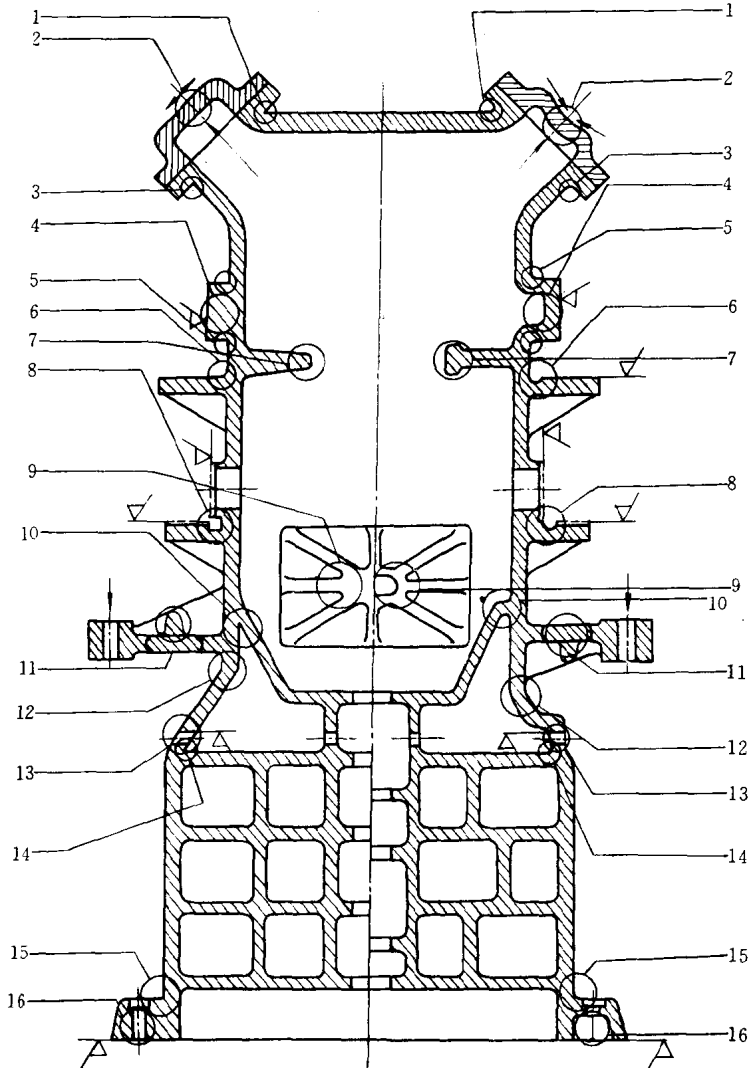


图 1-4

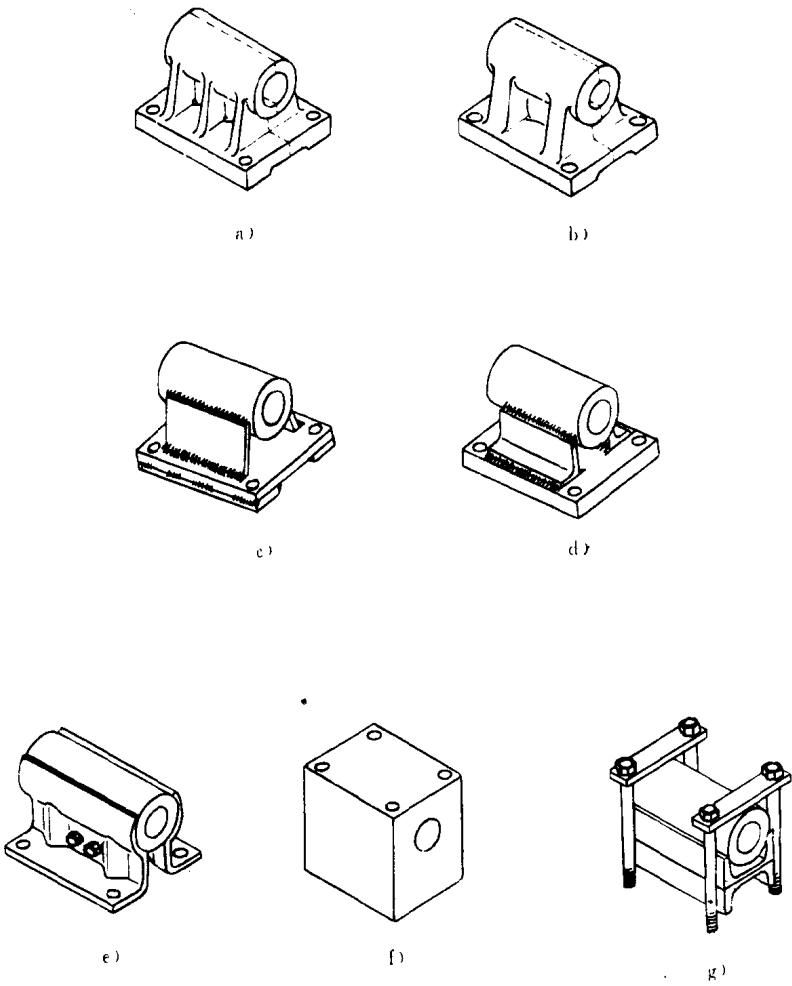


图 1-5

现代机械设计不能没有CAD(计算机辅助设计)。二维制图程序使机械制图方式产生了巨大的变化；有限元等数值方法使机械设计师对结构中的应力、变形等场问题的分析能力大为提高。三维制图程序和工程知识专家系统的广泛应用，将使整个结构

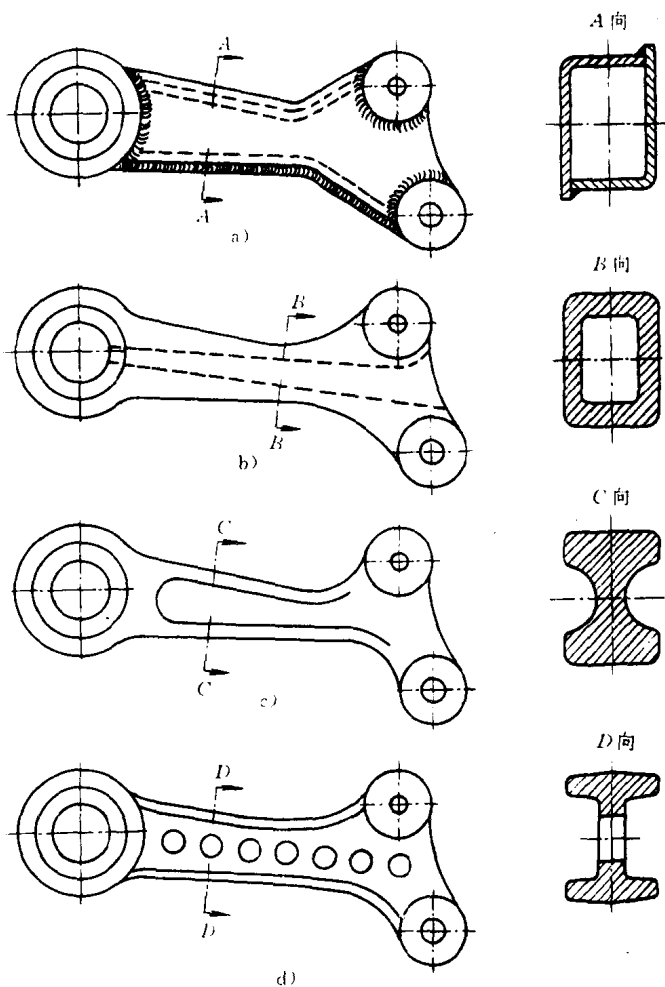


图 1-6

设计工作获得本质性进展。CAD 可以代替机械设计师计算、制图、制备技术文件，可以为机械设计师获取丰富的设计信息，它也可以显著地提高机械设计师的空间思维能力。例如，三维制图程序可使机械设计师通过屏幕直接“造”机械，但 CAD 只是机械设计师的工具。

设计是创造性的思维活动，运用创造性的思维方法能显著地提高机械设计师的创造设计能力。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、移情法、检验表法、智囊团法等。工程科学方法的价值体现于实际应用效果中。

综上所述，机械结构设计学应包含下列 5 个方面的内容：功能设计、质量设计、优化设计、CAD、创造性思维方法。

尽量用结构概念、图纸语言和丰富的工程实例来阐述结构设计理论和方法，这应是结构设计学的基本特征。是否密切联系工程实际，将决定工程科学的研究结果是成为指导工程实践的理论工具，还是成为科学垃圾。

2 结构设计的基本过程

这里将介绍结构设计过程的基本原则和基本步骤，由此，可以对结构设计过程得到一个概貌的了解。结构设计中各种具体情况差别很大，不必要按某种步骤按部就班地进行。

结构设计过程的基本准则是：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：

- (1) 明确待设计构件的主要任务和限制；
- (2) 粗略估算构件的主要尺寸；
- (3) 寻找成品，例如标准件、常用件、通用件等；若无成品可用，则：
 - ① 画工作面草图；
 - ② 在工作面之间填材料；
 - ③ 改变工作面大小、方位、数量及构件材料、表面特性、连

接方式，系统地产生新方案；

- ④ 按技术、经济和社会指标评价，选择最佳方案；
- ⑤ 寻找所选方案中的缺陷和薄弱环节；
- ⑥ 对照各种要求、限制，反复改进；
- ⑦ 强度、刚度以及各种功能指标核算；
- ⑧ 机械制图；
- ⑨ 制备技术文件。

下面列举两个结构设计实例来展示结构设计的过程。这里定量计算和机械制图等步骤都略去，重点突出基本结构草图的设计过程。

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

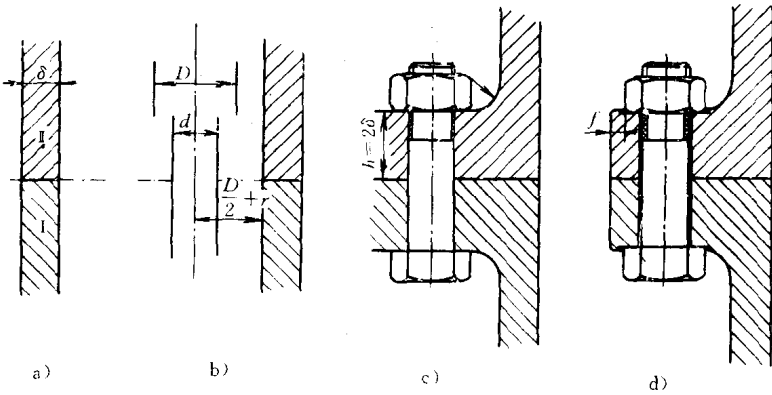


图 1-7

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，壁面和法兰过渡区半径 r 。 D 由 d 确定，有标准可循。 r 根据经验约为一半壁厚。所以螺栓轴心到壁厚的距离是 $D/d+r$ (见图 1-7b)。接着确定法兰厚度 h ，为方便起见这里假设 $h=2\delta$ ，这样便可按标准画螺栓和螺母 (见图 1-4c)。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 1-7d。

另一个结构设计的例子是直角阀门。

(1) 管径为 d (见图 1-8a)，管内压 p 已经给定，通过计算求得管壁厚为 δ 。由于生产批量大，材料用灰铸铁，即工艺是铸造。如果在这类结构设计中要确定一个中心的话，那么 M 点就是中心点，管 1 和管 2 的轴心以 M 为交点。在阀门完全打开时，流体的压力损失应尽量少。这就要求流过阀门开口处的过流截面至少等于孔道横截面。即

$$\pi \cdot d \cdot s = \pi/4d^2$$

$$\text{得 } s = d/4$$

这样求得的 s 是下限。鉴于流体流动方向不完全是半径方向，而是倾斜的 (见图 1-8b)。所以 s 应略作放大。根据经验取 $s = (0.4 - 0.5) d$ 。

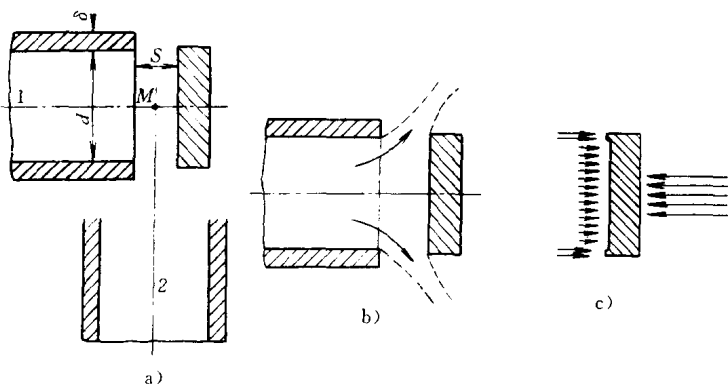


图 1-8

现在确定阀瓣厚度。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 1-8c)。可根据圆板弹性理论或经验确定阀瓣厚度。

(2) 接下来确定阀杆的尺寸，阀杆的受力情况比较复杂，因此，给出确定阀杆尺寸的一般方法是困难的。有限元等一切工程