

# 机械设计

黄祖德 主编



北京理工大学出版社

# 机 械 设 计

黄祖德 主编

北京理工大学出版社

(京) 新登字149号

### 内 容 简 介

本书根据高等工业学校《机械设计》课程指导委员会1987年审定的《机械设计(原机械零件)课程教学基本要求》编写。

全书共十八章。第一章为绪论；第二章为摩擦、磨损和润滑；第三至八章介绍各种机械传动的设计；第九至十一章为各种联接的设计；第十二至十七章为轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器与离合器、密封和弹簧的设计；章末附有思考题和习题等。第十八章为几种主要零部件的设计计算程序(已制成软件)。

本书可作为高等工业院校机械类和准机械类有关专业的教材，也可供工程技术人员参考。

### 机 械 设 计

黄祖德 主编

\*

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经销

北京密云华都印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 22印张 544千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-522-8/TH·51

印数：1-5000册 定价：7.95元

# 前 言

本书根据高等工业学校《机械设计》课程指导委员会1987年审定的《机械设计（原机械零件）课程教学基本要求》，结合编者所在教研室教师多年的教学经验，以及现代科学技术发展的要求编写而成。编者本着少而精的原则和有利于培养学生创新思维和设计能力的精神，力求深入浅出，细致严谨，突出重点，分散难点，加强讨论，引导学生掌握机械工程问题的分析方法。论述时，着重阐述主要零部件的设计原理、计算方法和结构设计要求，图文配合，并附有例题、思考题和习题等。

鉴于计算机在机械设计工作中的广泛使用，本书编入了几种主要零部件的设计计算程序。根据循序渐进的教学过程，编者建议：在学完本课程的有关章节内容之后，再学用这些程序是适宜的，这将会提高本课程整体的教学质量。

本书采用国际单位制，并尽可能采用有关的国家标准。

参加本书编写工作的有黄祖德（第一、二、五、六、十八章，传动小结）；张玉荣（第三、九、十一、十三、十五章）；王中发（第四、七、十七章，第十章的螺旋传动）；田悦祥（第八、十二、十四、十六章）；杨松林（第十章螺纹联接）。由黄祖德担任主编。

本书承北京航空航天大学郭可谦教授主审，他对初稿提出了许多宝贵意见，编者向他表示衷心的感谢！

在编写过程中，我们得到机电工业部兵工教材编审室和编者所在教研室同志们的大力支持，特别是彭荣济教授、赵国珊教授的热情帮助，在此致以谢意！

由于水平所限，书中不足之处在所难免，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

于北京理工大学机械设计教研室

1991年3月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	( 1 )
§ 1-1 机械设计课程的内容、性质和任务 .....	( 1 )
§ 1-2 机械设计的基本要求和一般程序 .....	( 2 )
§ 1-3 机械零件设计的基本要求 .....	( 3 )
§ 1-4 机械零件的设计方法和步骤 .....	( 5 )
§ 1-5 机械的可靠性 .....	( 6 )
§ 1-6 机械结构设计 .....	( 7 )
§ 1-7 机械优化设计 .....	( 10 )
§ 1-8 本课程的学习方法 .....	( 12 )
<b>第二章 摩擦、磨损和润滑</b> .....	( 14 )
§ 2-1 概述 .....	( 14 )
§ 2-2 摩擦表面的形貌 .....	( 14 )
§ 2-3 摩擦 .....	( 15 )
§ 2-4 磨损 .....	( 17 )
§ 2-5 润滑剂 .....	( 20 )
§ 2-6 润滑状态 .....	( 23 )
习题.....	( 25 )
<b>第三章 V带传动与同步带传动</b> .....	( 26 )
§ 3-1 概述 .....	( 26 )
§ 3-2 带传动的工作情况分析.....	( 27 )
§ 3-3 V带传动设计准则和传递功率的计算 .....	( 32 )
§ 3-4 V带传动的设计 .....	( 35 )
§ 3-5 同步带传动的设计 .....	( 47 )
习题 .....	( 55 )
<b>第四章 摩擦轮传动和无级变速机构简介</b> .....	( 57 )
§ 4-1 概述 .....	( 57 )
§ 4-2 摩擦轮传动设计计算内容简介 .....	( 58 )
§ 4-3 摩擦式无级变速机构简介 .....	( 58 )
<b>第五章 圆柱齿轮传动</b> .....	( 60 )
§ 5-1 概述 .....	( 60 )
§ 5-2 齿轮的失效形式和设计准则 .....	( 60 )
§ 5-3 齿轮材料与热处理方法 .....	( 63 )
§ 5-4 圆柱齿轮传动的精度 .....	( 65 )
§ 5-5 圆柱齿轮传动的载荷计算.....	( 66 )
§ 5-6 圆柱齿轮传动的强度计算.....	( 73 )
§ 5-7 齿轮传动的许用应力 .....	( 83 )
§ 5-8 齿轮传动短期峰载的强度计算.....	( 88 )

§ 5-9 圆柱齿轮传动设计举例	( 88 )
§ 5-10 圆柱齿轮的结构设计	( 93 )
§ 5-11 齿轮传动的润滑	( 95 )
习题	( 96 )
<b>第六章 锥齿轮传动</b>	<b>( 98 )</b>
§ 6-1 概述	( 98 )
§ 6-2 直齿锥齿轮传动几何尺寸的计算	( 99 )
§ 6-3 直齿锥齿轮传动的载荷计算	(101)
§ 6-4 直齿锥齿轮传动的强度计算	(102)
§ 6-5 锥齿轮结构	(105)
附录:当量圆柱齿轮的几何参数	(108)
习题	(108)
<b>第七章 蜗杆传动</b>	<b>(109)</b>
§ 7-1 概述	(109)
§ 7-2 阿基米德圆柱蜗杆传动的主要参数	(112)
§ 7-3 蜗杆传动的相对滑动速度和效率	(116)
§ 7-4 蜗杆传动失效形式与材料选择	(118)
§ 7-5 蜗杆传动受力分析	(119)
§ 7-6 蜗轮轮齿强度计算与蜗杆刚度计算	(120)
§ 7-7 蜗杆传动的润滑与热平衡计算	(124)
§ 7-8 阿基米德圆柱蜗杆传动的结构与精度	(125)
§ 7-9 圆弧面蜗杆传动简介	(131)
习题	(133)
<b>第八章 链传动</b>	<b>(134)</b>
§ 8-1 概述	(134)
§ 8-2 套筒滚子链及链轮	(135)
§ 8-3 链传动的失效及许用功率	(137)
§ 8-4 链传动的主要参数及设计计算	(139)
§ 8-5 链传动的布置、防护及润滑	(141)
习题	(142)
传动小结	(142)
<b>第九章 铆接、焊接和粘接简介</b>	<b>(146)</b>
§ 9-1 铆接简介	(146)
§ 9-2 焊接简介	(146)
§ 9-3 粘接简介	(147)
习题	(148)
<b>第十章 螺纹联接及螺旋传动</b>	<b>(149)</b>
§ 10-1 螺纹联接的一般知识	(149)
§ 10-2 螺纹联接的拧紧和防松	(153)
§ 10-3 螺栓组联接的结构设计和受力分析	(157)
§ 10-4 单个螺栓联接的强度计算	(163)
§ 10-5 提高螺栓联接强度的措施	(172)
§ 10-6 螺旋传动	(174)

习题 .....	(184)
<b>第十一章 轴毂联接 .....</b>	<b>(187)</b>
§ 11-1 概述 .....	(187)
§ 11-2 键联接 .....	(187)
§ 11-3 花键联接 .....	(190)
§ 11-4 销联接 .....	(192)
§ 11-5 过盈联接 .....	(194)
§ 11-6 型面联接 .....	(194)
§ 11-7 弹性环联接 .....	(195)
习题 .....	(195)
<b>第十二章 轴 .....</b>	<b>(197)</b>
§ 12-1 概述 .....	(197)
§ 12-2 轴的材料 .....	(198)
§ 12-3 轴直径的初步估算 .....	(200)
§ 12-4 轴的结构设计 .....	(201)
§ 12-5 轴的强度计算 .....	(204)
§ 12-6 轴的刚度计算 .....	(207)
§ 12-7 轴的振动 .....	(216)
习题 .....	(222)
<b>第十三章 滚动轴承 .....</b>	<b>(224)</b>
§ 13-1 滚动轴承的基本知识 .....	(224)
§ 13-2 滚动轴承类型的选择 .....	(230)
§ 13-3 滚动轴承的计算 .....	(230)
§ 13-4 滚动轴承的极限转速 .....	(238)
§ 13-5 变工况下滚动轴承的计算 .....	(239)
§ 13-6 一支点上安装两个同型号轴承的计算特点 .....	(240)
§ 13-7 滚动轴承的组合设计 .....	(242)
习题 .....	(248)
<b>第十四章 滑动轴承 .....</b>	<b>(251)</b>
§ 14-1 概述 .....	(251)
§ 14-2 滑动轴承的结构 .....	(251)
§ 14-3 轴承材料与轴瓦结构 .....	(253)
§ 14-4 供油装置及润滑剂的选择 .....	(258)
§ 14-5 非液体摩擦滑动轴承设计 .....	(260)
§ 14-6 流体动压滑动轴承 .....	(262)
§ 14-7 流体动压润滑的基本方程 .....	(264)
§ 14-8 流体动压向心滑动轴承承载能力的计算 .....	(267)
§ 14-9 流体动压滑动轴承的楔形间隙 .....	(273)
§ 14-10 流体静压滑动轴承 .....	(274)
§ 14-11 空气轴承简介 .....	(275)
§ 14-12 其它类型轴承简介 .....	(276)
附录 .....	(277)
习题 .....	(277)

<b>第十五章 联轴器与离合器</b> .....	(278)
§ 15-1 概述 .....	(278)
§ 15-2 刚性固定式联轴器 .....	(278)
§ 15-3 刚性可移式联轴器 .....	(280)
§ 15-4 弹性联轴器 .....	(282)
§ 15-5 联轴器的选择 .....	(283)
§ 15-6 操纵离合器 .....	(284)
§ 15-7 自动离合器 .....	(286)
习题 .....	(288)
<b>第十六章 密封</b> .....	(289)
§ 16-1 概述 .....	(289)
§ 16-2 静密封 .....	(289)
§ 16-3 接触式动密封 .....	(290)
§ 16-4 非接触式动密封 .....	(294)
§ 16-5 密封的组合应用 .....	(297)
习题 .....	(297)
<b>第十七章 弹簧</b> .....	(298)
§ 17-1 概述 .....	(298)
§ 17-2 圆柱形螺旋拉伸、压缩弹簧设计计算 .....	(302)
§ 17-3 其它弹簧简介 .....	(315)
习题 .....	(318)
<b>第十八章 常用零件的设计计算程序</b> .....	(320)
§ 18-1 概述 .....	(320)
§ 18-2 V带传动设计计算程序 .....	(320)
§ 18-3 同步带传动设计计算程序 .....	(323)
§ 18-4 圆柱齿轮传动设计计算程序 .....	(325)
§ 18-5 锥齿轮传动设计计算程序 .....	(329)
§ 18-6 蜗杆传动设计计算程序 .....	(332)
§ 18-7 轴强度设计计算程序 .....	(335)
§ 18-8 平键联接设计计算程序 .....	(338)
§ 18-9 滚动轴承设计计算程序 .....	(340)
参考书目 .....	(342)

# 第一章 绪 论

## §1-1 机械设计课程的内容、性质和任务

为了实现我国工业、农业、国防和科学技术现代化的宏伟目标，国家拟订的自1991年开始的十年规划和“八五”计划，要求“机械工业的发展达到一个新的水平，更好地满足国民经济各部门对先进技术装配的需要”。这就是机械设计工作者应当完成的任务。

机械是人们用以提高产品质量、生产率和替代或减轻自身劳动的工具。机械的种类很多，功能和外形不一。虽然如此，任何一种机器都有三大部分组成：

(1) 原动部分 是机械的动力来源。最常见的原动机有电动机、内燃机等。如车床的动力是交流电动机。

(2) 工作部分 是机械的终端，它完成机械本身功能确定的动作。如车床主轴及卡盘的旋转和刀架及车刀的纵横直线运动，实现切削零件的目的。

(3) 传动部分 处于机械的中间部位，它把原动机的运动和功率传递给工作部分。如车床的齿轮传动箱。除了机械式传动外，还有电磁传动、液或气传动。

除此之外，近代机械中可列出第四部分，即自控部分，它控制、检测和显示机械的运行状况。

从生产和装配的角度看，每台机械都由许多零(部)件组装而成。例如一辆汽车通常有成千上万个零件。零件是机械的最小单元，如齿轮、轴、车体、螺钉、活塞、汽缸、弹簧、曲轴，等等；为实现某一功能，将一些零件组合成一整体，称为部件，如滚动轴承、变速箱、发动机等。机械中的零(部)件可以分为两大类：一类称为通用零(部)件，它在各种机械中能经常遇到，如齿轮、螺钉、轴、弹簧、滚动轴承等。另一类称为专用零(部)件，它只出现于某些机械之中，如汽轮机的叶片、内燃机的活塞和曲轴等。

《机械设计》课程的研究对象是：在普通条件下工作的具有一般参数的通用零(部)件。课程的内容是从工作能力、失效形式、结构和工艺，以及使用维护等观点出发，研究通用零(部)件的设计原理和设计方法，其中包括如何确定零件的适当外形和尺寸，如何选择材料、精度等级、表面质量参数，以及绘制有技术条件的工作图等。为此，学习本课程之前，学生应具有高等数学、理论力学、材料力学、机械原理、工程材料、金属工艺学、互换性与技术测量及机械制图等有关课程的知识。学习过程中要综合运用上述知识来解决通用零件的设计问题。因此，《机械设计》课程是一门综合性的技术基础课，它在基础课与专业课之间起着承前启后的作用，并为专业课程的学习准备必要的条件。

《机械设计》课程的任务主要是：通过本课程的学习和课程设计等教学环节，培养学生运用基础理论解决简单机械及其零件设计问题的能力。即初步树立正确的设计思想；学习设计资料、手册的使用；掌握设计通用零(部)件的基本知识、基本理论和基本方法；能正确设计、分析和改进通用零件的结构和尺寸；并了解一些零件的试验方法等，从而使学生初步具有解决机械设计问题的能力。

## §1-2 机械设计的基本要求和一般程序

随着科学技术的进步和人们对生产、生活日益增长的需要，要求不断设计出新功能的机械。机械的功能与组成机械的机械零件的性能是紧密相关的。因此，要设计出一台好的机械，首先要定好方案，其次要很好地设计或选择它的零（部）件，而每个零件的设计或选择，又是与机械的功能分不开的。所以，要研究和较好地解决机械零件的设计问题，有必要先了解设计机械应满足的基本要求和一般程序。

### 一、设计机械应满足的基本要求

(1) 功能要求 能实现机械的预定功能，并在预定环境条件和工作期限内可靠地工作。

(2) 经济性要求 要求设计、制造和使用机械的费用少，并效率高。

(3) 操作方便、运行安全 要求设计的机械操作简便、省力；必要时可安装安全防护和保险装置；尽可能降低机械的噪声；美化机械的外观造型等，并应妥善处理人和机械间的各个联系环节。

(4) 其它特殊要求 如巨型机械要便于安装、拆卸和运输；食品、纺织、造纸机械不得污染产品等。

### 二、机械设计的一般程序

设计机械并没有一个固定不变的程序，须视具体情况而定，在此仅介绍较为典型的一般设计程序。

#### 1. 确定设计任务

首先根据社会、市场和用户的需要，确定机械的功能和经济技术指标，进而研究实现的可能性，然后确定设计需要解决的问题和项目，并编制设计任务书。应在调查分析的基础上，组织人员和拟订可行的工作计划。

#### 2. 拟定总体方案

根据设计任务规定的机械功能，拟定机械的总体布置及传动方案，分析机构的运动规律和受力情况。这一阶段中往往需要拟定多种方案，并对经济技术指标及方案的可行性进行比较，从中选用最佳方案。

#### 3. 总体结构设计

依据总体方案，通过运动学和动力学计算，以及关键零（部）件工作能力和寿命的计算，有时还需借助试验测得必要的参数，确定结构中零件、部件的形状和尺寸，及其相互间的位置关系，绘出总体结构草图。

#### 4. 零（部）件设计

根据总体结构要求，考虑零（部）件的工艺性和工作能力，绘制零（部）件工作图，并编写出相应的技术文件和说明书。

#### 5. 鉴定和评价

设计的图纸是否能实现预定的功能和满足提出的各项要求？可靠性和经济性又是如何？都需经过试制样机、试车，做出科学鉴定和评价。然后进行修改，再试制、试车，直至达到

产品定型设计的要求。

从以上设计程序可见，各个阶段的设计其间是互相联系的，若某阶段中发现问题，则有关阶段必须要修改设计。因此，整个设计过程是一个不断修改和完善的过程。只有当设计人员树立了正确的设计思想，努力掌握先进的科学技术知识和辩证的思维方法，在实践中不断积累设计经验，并有所发展和创新，这样才能出色地完成设计任务。

### §1-3 机械零件设计的基本要求

设计机械零件应满足的基本要求是工作可靠和成本低廉。

#### 一、机械零件的工作能力

机械零件由于某些原因不能正常工作时，称为失效。常见的失效形式有：突然断裂和疲劳断裂，塑性变形和过大的弹性变形，表面损伤和过度磨损，联接零件松动，靠摩擦力工作的零件打滑等。如果组成机械的零件发生任何一种形式的失效，则机械就不能正常工作。

零件的工作能力是指零件在一定的工作条件下抵抗失效的能力，对载荷而言称为承载能力。同一种零件可能有几种不同的失效形式，因而对应于各种失效形式也就有不同的工作能力。例如，轴的失效可能由于疲劳断裂，也可能由于过大的弹性变形。前者轴的工作能力取决于轴的疲劳强度，后者取决于轴的刚度。机械零件工作能力虽然取决于多种因素，但归纳起来最主要的是强度、刚度、耐磨性及振动稳定性等。

##### 1. 强度

强度是指零件承受载荷后抵抗整体断裂、塑性变形和某些表面损伤的能力。如果强度不够，零件就不能正常工作，甚至可能发生严重事故。因而，强度是一切零件都应满足的最基本的要求。

根据安全系数法的强度计算，应满足的条件式为

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{lim}}{S_{min}} = [\sigma] \text{ 或 } S = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma} \geq S_{min} \quad (1-1)$$

式中 $\sigma$ 为零件的计算应力， $\sigma_{lim}$ 为零件材料的极限应力， $[\sigma]$ 为材料的许用应力， $S$ 为计算的安全系数， $S_{min}$ 为许可的最小安全系数。

##### 2. 刚度

刚度是指零件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力。零件的刚度常用单位变形所需的力或转矩来表示。刚度这一要求对于那些弹性变形量超过一定数值后会影响到机械工作质量的零件尤为重要。例如，齿轮轴的弯曲挠度过大会破坏齿轮的正确啮合；机床主轴的刚度过小将严重影响工件的加工质量等。所以，对于有刚度要求的零件需要进行刚度计算。

刚度计算应满足的条件式为

$$y \leq [y] \quad \varphi \leq [\varphi] \quad (1-2)$$

式中 $y$ 为零件的变形量（伸长量、挠度等）， $[y]$ 为许用变形量， $\varphi$ 为零件的变形角（挠角、扭转角等）， $[\varphi]$ 为许用变形角。

应当指出，有些零件不仅不需要有大的刚度，而是要求有一定的柔度，如弹簧等。所

以，决不能认为无论什么零件都是刚度愈大愈好。

### 3. 耐磨性

耐磨性一般是指作相对运动的零件在载荷作用下抵抗磨损的能力。零件的磨损量超过允许值后，尺寸和形状将改变，工作表面精度也随之下降，不能再保持原来的运动轨迹，而导致机械功能的失灵。据统计，在一般机械中，由于磨损而失效的零（部）件大约占全部报废零（部）件的80%。因此提高零件表面的减摩性和耐磨性是提高机械寿命、节约能源和材料的一项重要措施，具有重大的经济意义。

### 4. 振动稳定性

振动的特征一般用振幅和频率两个参数表示。高速机械容易产生振动，振动会使零件承受额外的交变应力，使零件过早地疲劳断裂，同时还产生较大的噪声。当周期性载荷的作用频率等于或接近机械系统或零件的固有频率时，就会发生共振。这时，零件的振幅将急剧增大，这种现象称为失去振动稳定性。共振将导致零件甚至整个系统在短期内破坏，这种情况必须避免。因此，对于高速机械应进行振动分析和计算，以确保零件及机械的振动稳定性。

注意：各个零件并不是都要作上述各种工作能力的计算。而应根据具体情况，针对零件的主要失效形式应具备的工作能力来进行设计计算，必要时再按其它要求进行校核计算。例如，设计机床主轴时，一般先按刚度确定尺寸，然后再校核计算其强度，还常常要进行振动计算。

## 二、经济性

经济性是一个综合性的指标，它表现在设计、制造和使用的整个过程中。在设计制造中要求成本低、生产周期短；在使用中要求生产率高、效率高、能源和材料消耗低、管理方便和维护费用低廉等。为了改善机械零件的经济性，主要应注意以下几个方面。

### 1. 合理地选择材料

选择材料时，既要满足零件的工作要求又要价格便宜，同时还要注意材料的供应情况，尽可能就地取材。为此，设计人员要熟悉各种材料的基本性能，根据实际需要进行选用。同时要充分利用热处理及其它先进工艺方法以提高零件材料的机械性能。例如，采用零件表面硬化处理，可提高零件表面的接触疲劳强度，而其芯部仍保持良好的韧性。

### 2. 良好的工艺性

在一定的生产规模与生产条件下，能用最少的加工费用和简单的工艺方法制造出满足使用要求并容易装配的零件，则称这种零件具有良好的工艺性。因此，设计人员必须深入了解生产单位的工艺设备条件和生产水平，认真考虑各个零件的制造过程及方法。这样才能设计出具有良好的工艺性的零件。

### 3. 标准化、系列化、通用化

设计机械时尽量采用标准零（部）件，包括标准尺寸系列。标准化在经济上具有重大的意义：①便于用最先进的方法由专门工厂组织大批量生产，不但能保证零件的质量，而且可以节约材料和设备，降低生产成本；②由于标准化简化了设计工作，可缩短产品的设计制造周期，有利于产品的更新；③扩大了零、部件的互换性范围，简化机器的安装与维修工作，进一步提高零、部件和机械的利用率。

与标准化密切相关的是系列化和通用化。对于同一产品，为了适应不同的使用情况，采

用相似理论，规定出结构类型相同而尺寸不同的产品系列称为系列化。通用化是指在不同类型或相同类型的产品中采用同一结构和尺寸的零、部件，以减少零、部件的种类，简化生产管理、降低成本和缩短产品生产周期。

我国现行标准有国家标准（GB），国家军用标准（GJB），部颁标准（如JB为机械工业部标准、YB为冶金工业部标准、WJ为兵器工业部标准等），以及企业行业用标准，等等。由于标准化、系列化、通用化具有明显的优越性，所以在设计工作中应积极使用国家标准，尽量采用各有关部门的标准。

设计机械（包括零件和部件）除了要满足工作可靠、成本低廉的要求外，还应注意它们的外形，讲究造型设计，力求产品外形新颖并美观大方，色调明快，以使机械产品具有良好的社会效益和经济效益，具有较强的市场竞争力。

## §1-4 机械零件的设计方法和步骤

### 一、机械零件的设计方法

#### 1. 理论设计

根据现有的设计理论与设计方法进行的设计。按照计算顺序的不同，理论设计可分为：

(1) 设计计算 由理论设计计算公式确定零件的形状和尺寸。

(2) 校核计算 先由其它方法（如经验设计）初步选定零件的形状和尺寸，然后用理论校核公式进行校核计算。

#### 2. 经验设计

经验设计是根据同类机器及零件已有的设计和长期使用累积的经验而归纳出的经验公式，或者是根据设计者的经验用“类比法”所进行的设计。经验设计简单方便，但也有其局限性。

#### 3. 模拟实验设计

对于尺寸特大、结构复杂又难以进行理论计算的重要零、部件可采用模型实验设计。即把初步设计的零、部件作成小模型或小样机，通过模型或样机实验对其性能进行考核，根据实验结果修改初步设计，使它更符合实际要求。

近年来，新的设计理论和方法的出现：如断裂力学、有限元法、摩擦学、设计方法学、系统分析法、优化技术、可靠性设计、价值分析，以及计算机辅助设计和计算机绘图等，已在某些零件和机械的设计中应用，显然将会获得最佳的结果，即改善整机的功能，提高运行的可靠性和降低成本。

### 二、机械零件设计的一般步骤

1. 根据机器总体结构初定的零件形状和尺寸，拟定零件的计算简图。
2. 确定作用在零件上的载荷。
3. 根据对零件的功能要求，材料的性能、价格和供应情况，选择合适的材料和热处理方法。
4. 根据零件可能出现的失效形式，确定零件承载能力的计算准则和相应的计算方法。

5. 计算确定或经验选定零件的主要参数和几何尺寸, 对计算求得的数据, 必要时应进行标准化或圆整, 对于由经验选定的一些重要参数和尺寸, 应进行校核计算。

6. 绘制零件工作图 (图上应注明全部尺寸、公差、表面粗糙度和必要的技术条件等), 并写出计算说明书。

## §1-5 机械的可靠性

按照一般强度条件设计的零件, 其安全系数通常指零件的强度平均值与载荷平均值之比。实际上强度和载荷 (或应力) 都具有离散性, 因此即使安全系数大于 1, 零件还是有早期失效的可能性。人们为了“保险”起见, 往往把安全系数取得较大, 而使零件显得笨重。随着科学技术的进步, 机械的可靠性已从定性评估发展为可以量度的指标, 并建立了一个专门的领域——机械可靠性设计。可靠性设计是考虑了机械失效的各个因素的离散性特点, 它需要来自材料成份、加工质量、安装试车、运行检测、故障维修和失效分析等诸方面的确切的大量的数据记录, 采用概率论和数理统计理论进行分析处理。在设计中引进可靠性理论, 能使设计者切实地把握设计的效果, 获得满足一定可靠度下的使用安全性, 且重量轻、经济性又好的高质量产品。

可靠性一般可用“可靠度”量度, 可靠度是指产品 (机器或零件) 在规定的使用条件下在规定的时间内 (寿命、工作循环次数或距离等) 内完成规定功能的概率, 以  $R$  表示。或者说, 可靠度是大量的零件在规定使用时间内能正常工作的件数占总件数的百分数。设有大量的某种零件共  $N_T$  个, 在使用  $t$  时间后, 已有  $N_f$  个零件失效, 还剩下  $N_s$  个零件能继续正常工作, 则可靠度为

$$R = \frac{N_s}{N_T} = \frac{N_T - N_f}{N_T} = 1 - \frac{N_f}{N_T} \quad (1-3)$$

不可靠度 (或失效概率) 为

$$F = \frac{N_f}{N_T} \quad (1-4)$$

于是可靠度与失效概率的关系为

$$R = 1 - F, \quad R + F = 1 \quad (1-5)$$

按照可靠性理论, 任何一台机器 (或部件) 中的零件都可能连接成串联的或并联的或串并联的系统。不同的系统有其不同的可靠度。现将串联系统和并联系统的可靠度计算式概述如下。

(1) 设有  $n$  个零件的串联系统, 每个零件的可靠度是  $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ 。当系统中有任何一个零件失效, 则整个系统就会失效。因此串联系统的可靠度为

$$R = R_1 R_2 R_3 \dots R_n \quad (1-6)$$

(2) 设有  $n$  个零件的并联系统, 每个零件的不可靠度是  $F_i$  (即可靠度为  $R_i = 1 - F_i$ )。若系统中零件全部失效时, 整个系统才会失效。因此并联系统的不可靠度为

$$F = F_1 F_2 F_3 \dots F_n = \prod_{i=1}^n F_i$$

系统的可靠度为

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (1-7)$$

由式(1-6)和式(1-7)可知,串联系统的可靠度总是低于系统中任一零件的可靠度,串联系统中的零件愈多则系统的可靠度就愈低。因而要尽量减少零件的数量,特别要减少可靠度低的零件。并联系统的可靠度较高,这是由于系统中某个零件在工作时,有 $n-1$ 个零件作为后备。一旦工作着的零件失效,后备零件就替代之,系统继续正常工作。并联系统需要备件,这使整机成本提高。因此,着力提高每个零件的可靠度是最经济的。

## §1-6 机械结构设计

结构与理论计算一样,在机械设计中占有极重要的地位。这是因为一台机械的全部零件尺寸,由理论计算决定的只占小部分,而大量的尺寸、外形和零件间的相对位置关系,是由设计者根据整机的功能、强度、刚度、加工性、安装、调试、维修,以及特殊要求和条件综合分析考虑,作出判断后确定的。

现列举一些结构设计实例,进行对比分析,讨论它们的优缺点。

### 一、结构对机械性能的影响

图1-1所示为一球面支承结构。图(a)是两球面相挤压,因曲率半径较小,它的接触强度最低。图(b)所示是一个球面,另一个为平面,提高了它的接触强度。图(c)所示的结构,因两球面同向翘曲,获得最大的综合曲率半径和最高的接触强度。

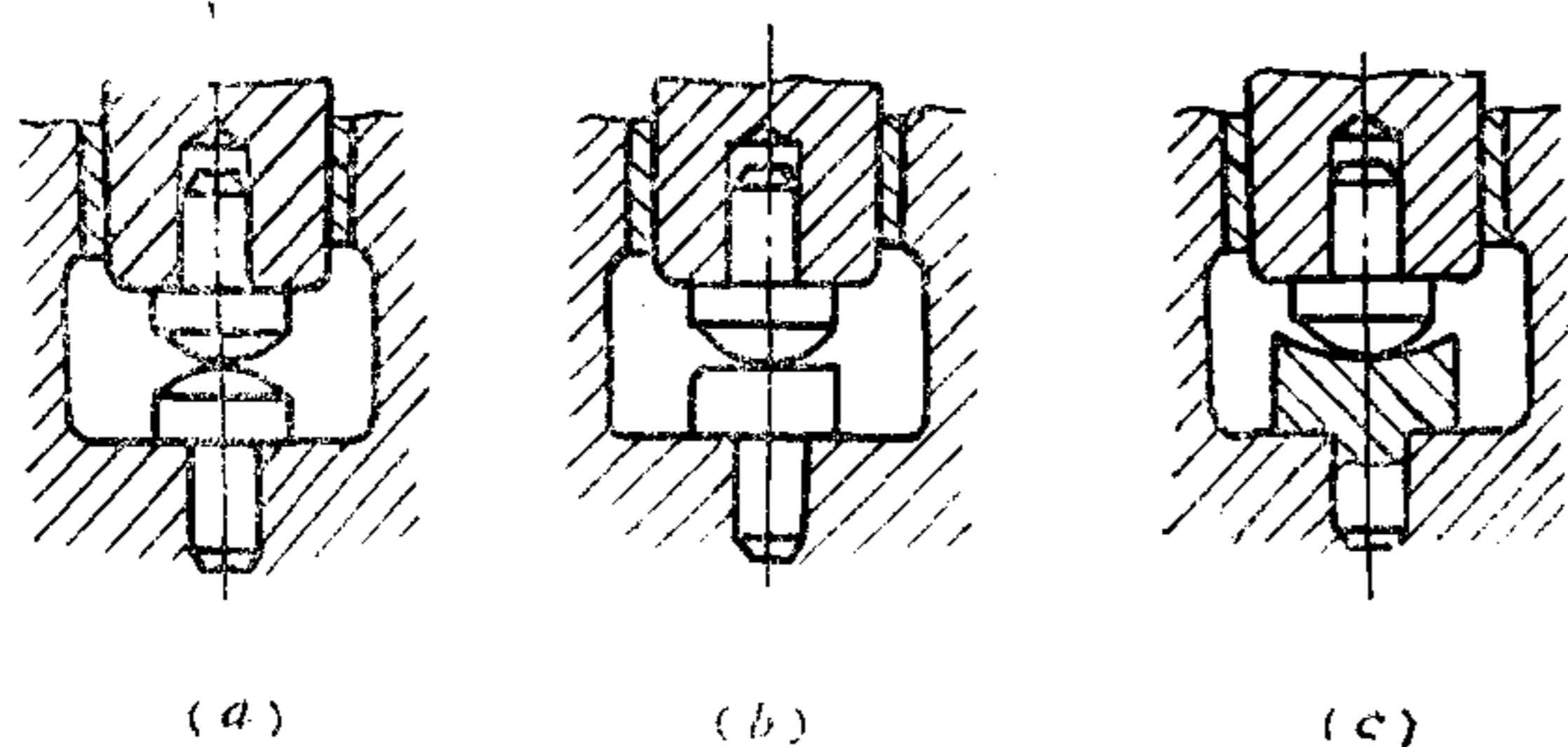


图1-1 球面支承组合形式

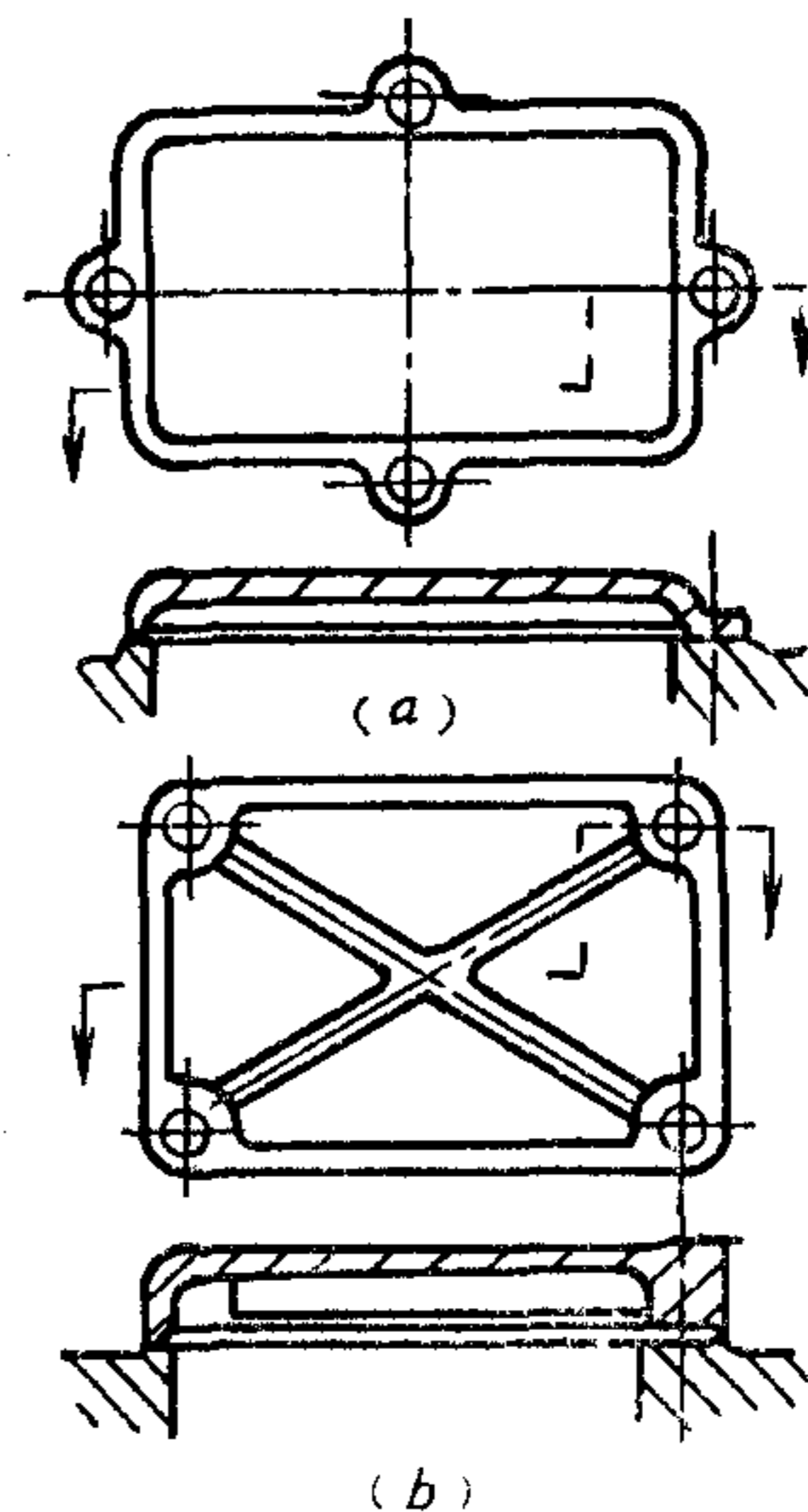


图1-2 盖板形状与联接螺钉布置

图1-2为用螺钉拧紧盖板的结构。图(a)所示结构,螺钉布置在盖板刚度较小的凸耳上,不能可靠地相互压紧。图(b)中的盖板边缘加厚,又板内面加筋,可以提高刚度,提高螺钉联接的紧密性。

图1-3为用直径对中的结构。选择对中直径较小时,受温度变化的影响比较小,平均间隙也较小,加工较容易,使对中精度较高。因此图(b)的结构较好。对中表面应有足够的高度 $H$ ,可按 $H = 0.5 \sqrt{D}$ (mm)计算,式中 $D$ 为对中表面直径。

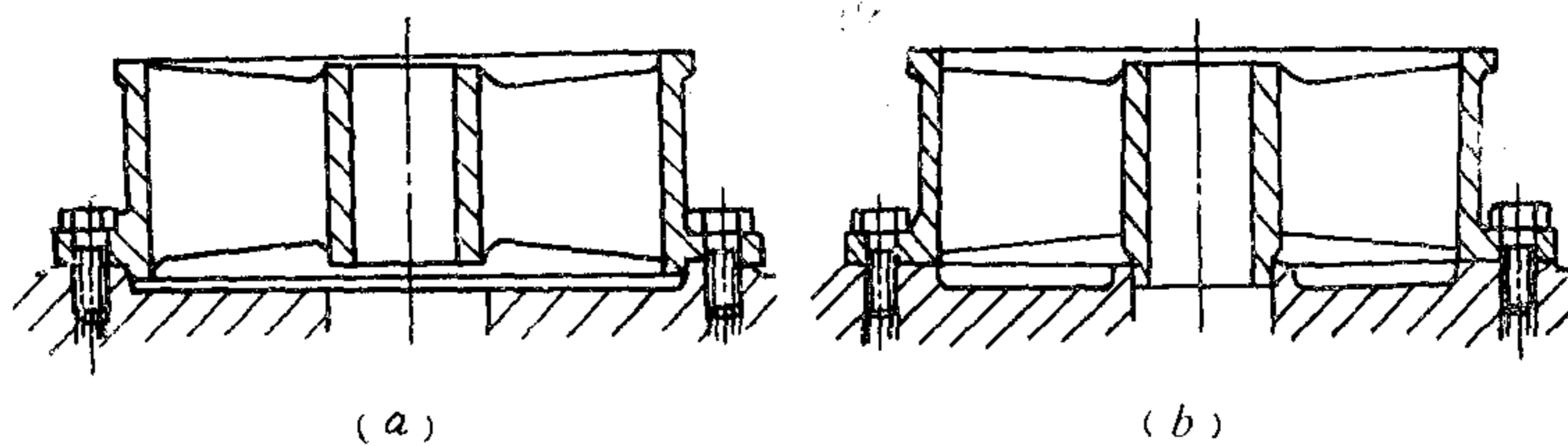


图1-3 减小对中直径

图1-4示出几种中间齿轮的支承装置。图(a)的结构是不合理的，因为作用在滑动轴承上的力是偏心的，它使轴承边缘产生很高的边缘压力。图(b)中轴承宽度增加，受力情况得到改善，但仍不均匀。比较好的结构是力的作用平面通过轴承宽度中点，例如图(c)和(d)的结构。但图(c)结构的缺点是把轴承分为分离的两段。如果做成整体式轴承(图d)，则既具有小的轴向尺寸，又具有高的支承能力。

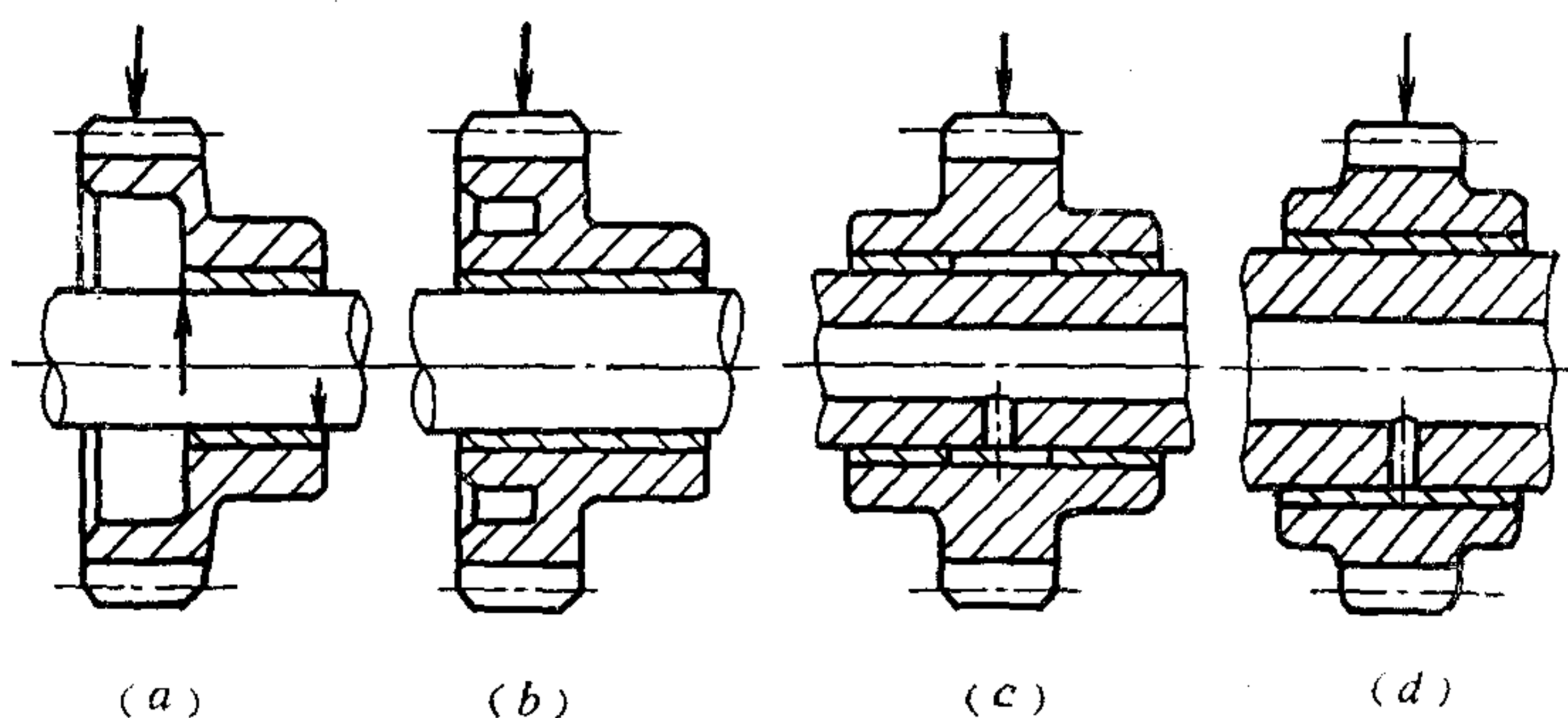


图1-4 中间齿轮的支承装置

## 二、结构对加工制造的影响

图1-5表示要在面上钻个斜孔。图(a)的结构难以钻孔。只有先钻一段垂直孔，然后在孔底锥面上再钻出斜孔，如图(b)所示。

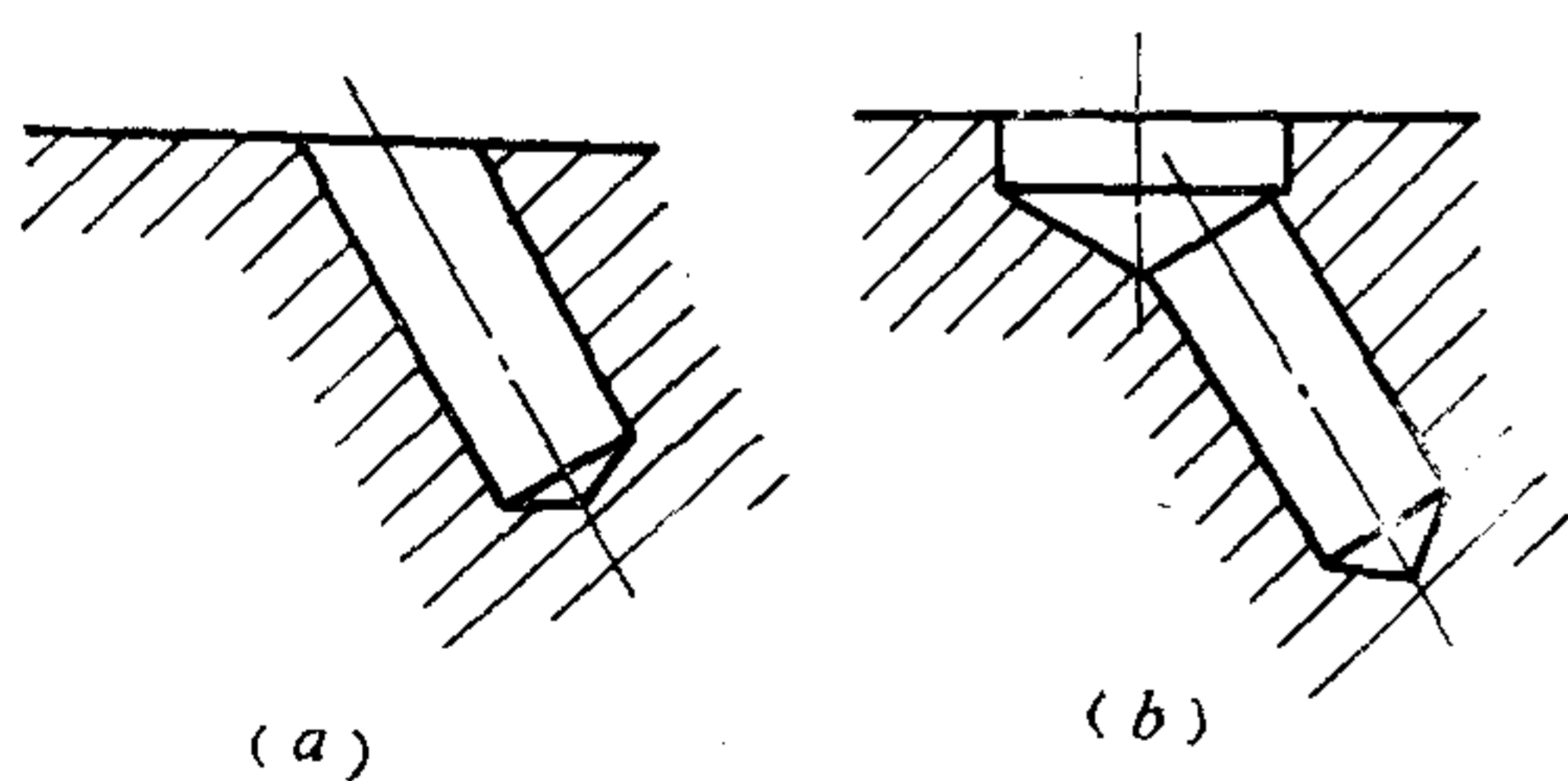


图1-5 钻斜孔

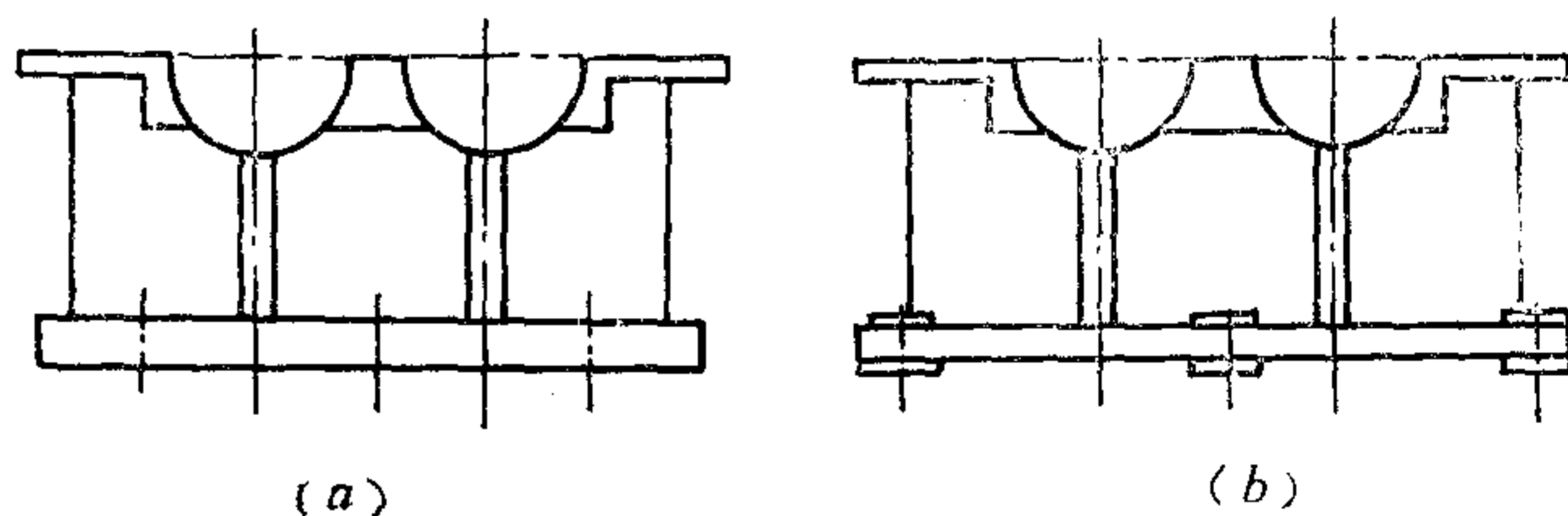


图1-6 减小加工面积

图1-6为一传动箱座，箱底面积较大。为了平整地安装在机架上和减少加工时间，应做成对称性的几个凸台，减小加工面积。图(b)的结构较好，除有凸台外，台中有安装螺栓的孔。

图1-7为机床主轴的前支承结构，它由3182000型锥形内孔轴承和两个8000型推力轴承组成。为了保证主轴具有足够的直径，中间套筒做得较薄。在轴承预紧时，螺母1施加至套筒上的力很大，致使套筒变形很大(见图a)，影响主轴精度，并且调整困难。图(b)是另一种结

构，其中推力轴承的轴向间隙是利用右端垫片 1 来调整的，双列向心短圆柱轴承的间隙是利用螺母 2 来调整的。螺母 2 与轴承之间的套筒改为两个短套筒。这种结构，可使机座孔镗制成通孔，而不用支承凸肩，这使镗磨轴承孔成为可能，工艺性因而大大改善，精度提高。

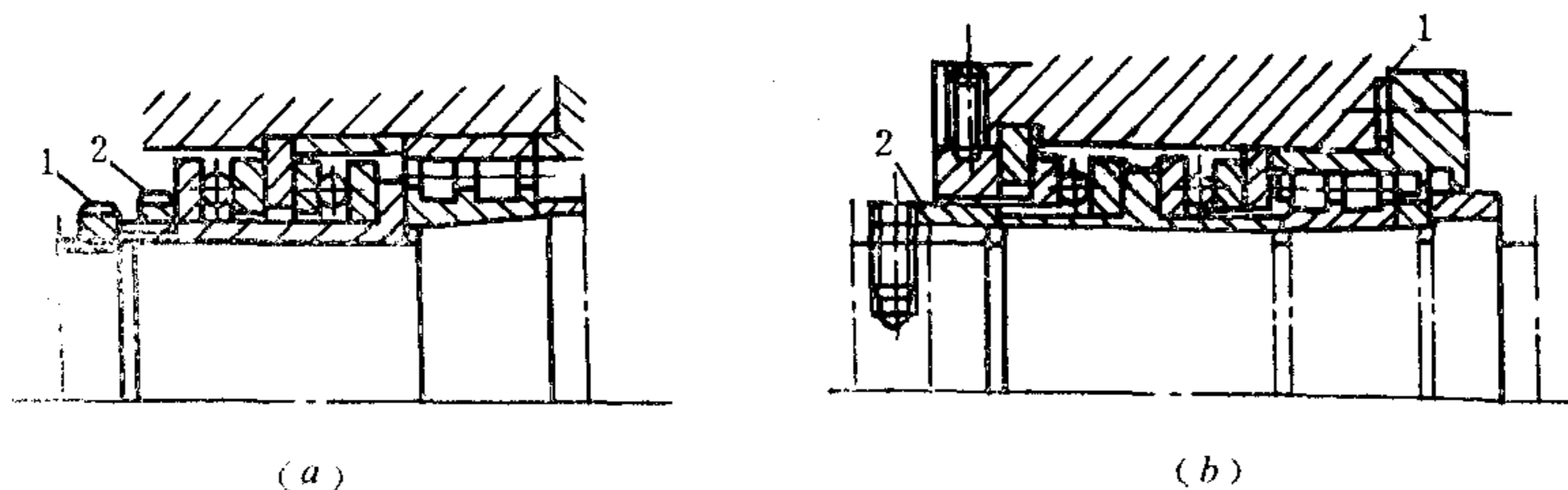


图1-7 主轴前支承结构工艺性比较

设计铸造零件时，应考虑到液态金属的流动性。若壁厚太薄或薄厚过渡变化太大，如图1-8(a)和(c)所示，则可能出现铸件充填不满，出现缩孔缺陷。图1-8(b)和(d)的形状其结构得到了改善，提高了铸件质量。图(d)中在孔下有条筋，提高支承的刚度。

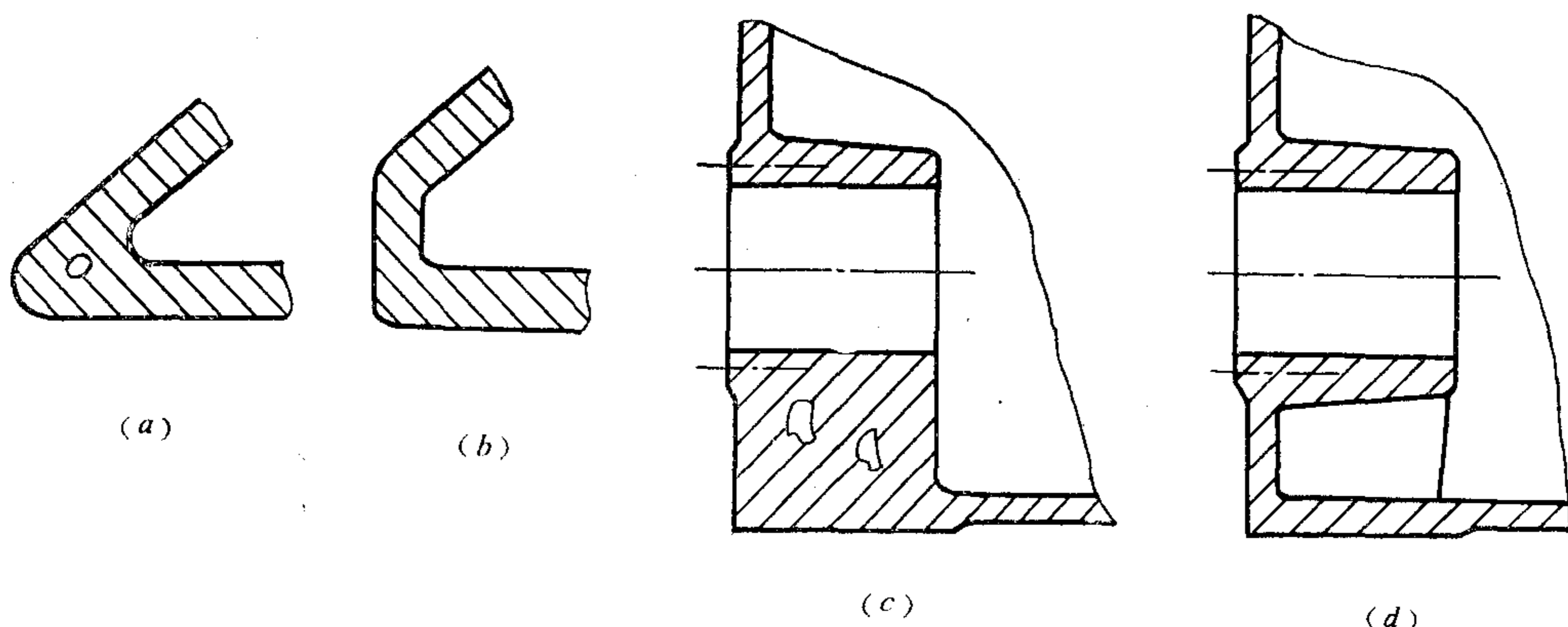


图1-8 铸件的转角和过渡结构

### 三、结构与使用维修的关系

图1-9为V带-齿轮传动装置。由于V带的使用寿命较短，因此要考虑更换V带的方便性。图(a)是不合理的结构，而图(b)则是合理的。

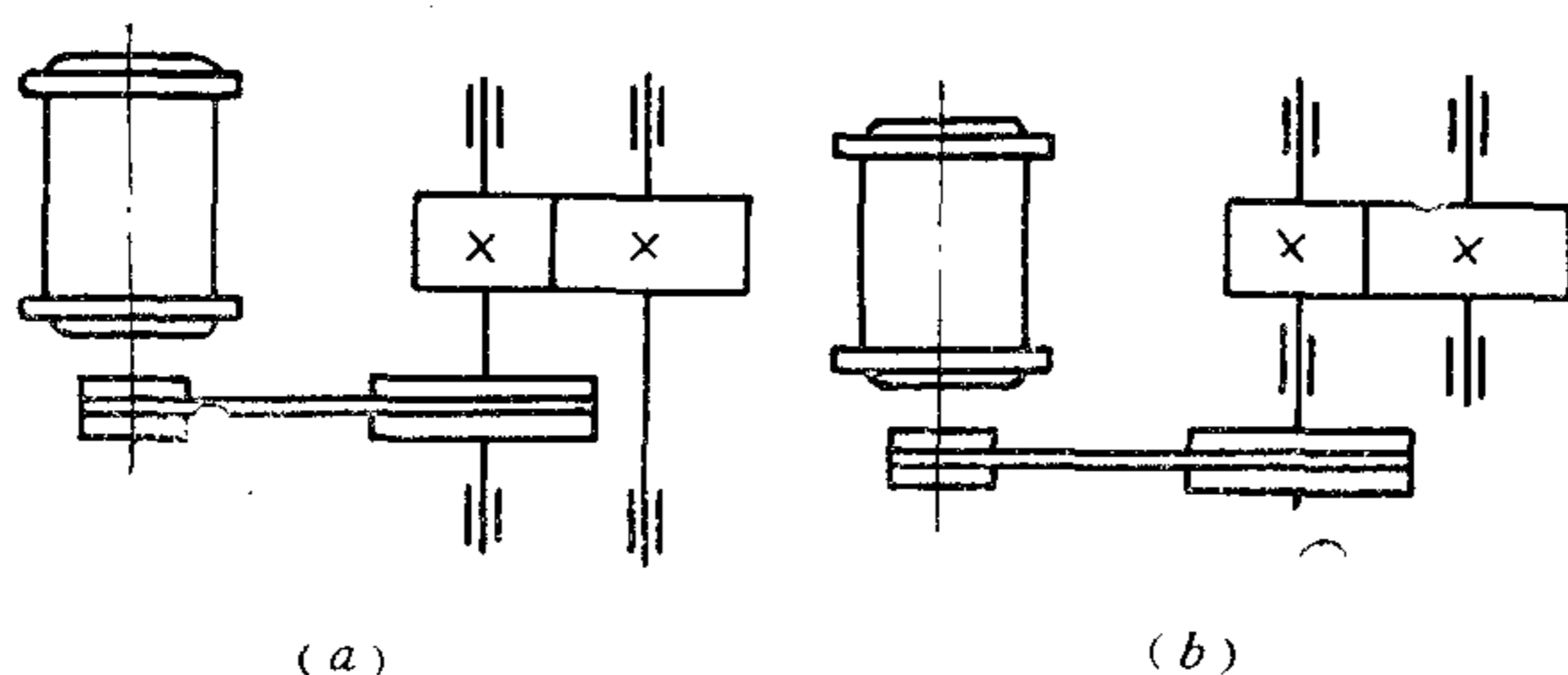


图1-9 更换V带的不同结构

图1-10为三种不同的放油孔位置。图(a)中因油孔位置过高，不能将油放净。图(b)和(c)所示的均可将油放净，是合理的结构。图(c)的结构中有小块低洼，更有利于加工和放油。