



机械零部件结构设计实例与 典型设备装配工艺性

JIXIE LINGBUJIAN JIEGOU SHEJI SHILI YU
DIANXING SHEBEI ZHUANGPEI GONGYIXING

李
慧

马
正
先

著



化学工业出版社



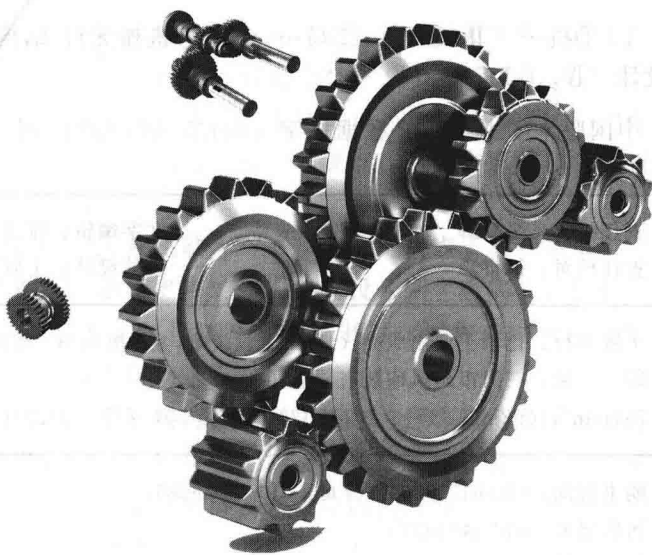
机械零部件结构设计实例与 典型设备装配工艺性

JIXIE LINGBUJIAN JIEGOU SHEJI SHILI YU
DIANXING SHEBEI ZHUANGPEI GONGYIXING

李
慧

马
正
先

著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从工程实践的角度出发,通过机械零部件结构设计实例、典型设备装配工艺性分析,较为全面系统地介绍了机械结构与装配之间的关系,对机械结构设计过程中容易被忽视的工艺性问题进行了阐述与比较,指出了机械结构设计过程中应该注意的相关工艺性问题。

全书主要由两大部分组成:第一部分为机械零部件结构设计实例,主要包括轴结构与工艺性、轴承结构与工艺性、齿轮结构与工艺性、凸轮结构与工艺性、带轮结构与工艺性、箱体结构与工艺性、减速箱(变速箱)结构与工艺性、粉末冶金件结构与工艺性及工程塑料件结构与工艺性;第二部分为典型设备装配工艺性,主要包括矿用通风机、专用数控机床及工业机器人等。

全书以工程实例为主,同时兼顾了理论要点。注重理论与实践应用的结合,采用工程图例的方式对机械结构与工艺性问题进行简明扼要地表达与阐述,力求使读者能够较全面地掌握机械产品的结构设计方法与工艺技术,并将两者紧密结合起来。

本书可作为机械类本科生、工科研究生、科研工作者以及机械设计人员、相关工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械零部件结构设计实例与典型设备装配工艺性/李慧,马正先著.北京:化学工业出版社,2015.3

ISBN 978-7-122-22924-3

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第023714号

责任编辑:张兴辉

文字编辑:张绪瑞

责任校对:徐贞珍

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:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张17¼ 字数397千字 2015年7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>

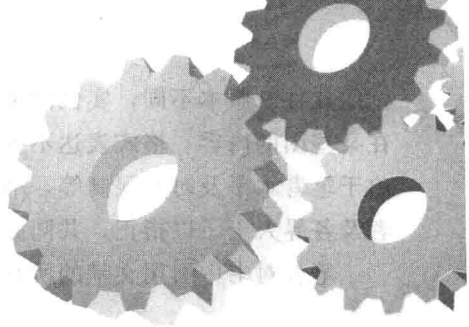
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:69.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD



这是一本密切联系工程实际、结合大量设计图例系统地论述机械零部件结构设计与实例的书。

机械零部件结构设计及设备装配工艺是机械制造及自动化技术的重要内容，是一种既要求多学科理论基础，更要求工程知识和实践经验的蕴藏着巨大优化和潜力的工作，但对其系统研究的成果或论著却极少见。长期以来，由于系统地对非标类典型机械及其零部件结构设计实例的分析研究较少，其知识主要靠设计者自己在工作实践中摸索积累，但仅靠个人的力量或感性经验毕竟有限，还会极大地限制设计者的视野和创造力。为此，将设计者个人的感性经验上升为理性知识，从而为设计者提供客观上的方便，以促进更多的人进行深入理论研究是笔者的夙愿，也是出版本书的主要目的。

本书是笔者（联系方式 E-mail: lihuishuo@163.com, zhengxianma@163.com; QQ: 1003393381）在从事企业产品设计与开发和学校教研的基础上，结合多年的研究成果以及国内外的研究资料而编写的。

全书主要由两大部分组成：第一部分为“机械零部件结构设计实例”；第二部分为“典型设备装配工艺性”。

书中“改进前”的实例主要来自企业、设计院、科研院校近年来的相关实例。由于“改进前”的实例大多属于初期的原设计，其存在的问题既具有个体性也具有多样性及多面性。为了突出对重点问题的阐述，书中没有对逐个问题从多个方法加以一一修正或阐述。“改进后”的实例，一方面是笔者在工作及研究中对该问题的看法与观点，另一方面是参考或汲取了国内外的资料。

书中“矿用通风机”“专用数控机床”“工业机器人”三章，分别代表了笔者从事科研工作的不同时期或阶段。在相应的工作期间，由于更多的精力主要投入到生产实践，使许多理论性的研究与创新没有及时记录，更忽略了深入总结，这是本书写作过程中时常感到的遗憾，这种遗憾也将督促笔者不断进取，让探索成为进行时。

全书较全面地总结了机械制造过程中包括材料选择、加工制造、操作规范及手段等各种禁忌问题，旨在能尽量做到理论联系实际、有实用价值、能指导生产实践；并为进一步的理论研究起到抛砖引玉的效果。但由于机械及装备问题的复杂性及时间限制，书中仅有针对性地对提出的问题进行研究与表达，没有涉及具体实例以外的结构和问题。

本书得益于诸多同事与学生的帮助和丰富的媒体与资料，得益于马辰硕等的支持，在此表示衷心的感谢。

本书保留了改进前实例的原始图样，没有对“改进前”的原实例图样进行改动。由于实

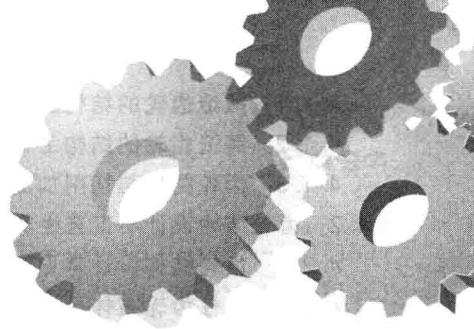
例的软件、版本不同，实例的来源多以及个别图例图面太大且复杂等原因，也会使得实例存在某些图的内容、格式表达不妥之处。并且，书中的诸多论点和观点也只是笔者一家之说。由于笔者水平及时间限制等，书中会出现笔者想不到或考虑不周的诸多问题，恳请并欢迎读者及各界人士予以指正，共同商讨。

笔者对书中引用文献的所有著作权人表示衷心感谢！

作 者

CONTENTS

目 录



1 CHAPTER	第 1 章 导论	Page 1
	1.1 本书的主要内容	(1)
	1.2 本书的内容特点	(2)
2 CHAPTER	第 2 章 轴结构设计与工艺性	Page 3
	2.1 轴结构设计要点及禁忌	(3)
	2.2 轴结构设计与工艺性实例分析	(4)
	2.2.1 轴结构设计常见错误及其改进	(4)
	2.2.2 锥形轴	(39)
	2.3 实例启示	(44)
	2.3.1 轴结构设计与工艺性相关的问题	(44)
	2.3.2 轴结构设计与工艺性涉及的内容	(46)
3 CHAPTER	第 3 章 轴承结构设计与工艺性	Page 47
	3.1 轴承装配结构设计要点及禁忌	(47)
	3.1.1 滚动轴承	(47)
	3.1.2 滑动轴承	(48)
	3.2 轴承装配结构设计及装配工艺性实例分析	(48)
	3.2.1 滚动轴承装配结构常见错误及其改进	(48)
	3.2.2 滑动轴承装配结构常见错误及其改进	(56)
	3.3 实例启示	(61)
4 CHAPTER	第 4 章 齿轮结构设计与工艺性	Page 62
	4.1 齿轮结构设计要点及禁忌	(62)

4.1.1	锻造齿轮的结构工艺性	(62)
4.1.2	铸造齿轮的结构工艺性	(62)
4.1.3	齿轮结构与切削加工	(63)
4.2	齿轮结构设计与工艺性实例分析	(63)
4.2.1	齿轮结构设计常见错误及其改进	(63)
4.2.2	圆柱齿轮结构设计错误及其改进	(70)
4.2.3	锥齿轮结构设计需要注意的问题	(72)
4.2.4	双联齿轮结构设计需要注意的问题	(73)
4.3	实例启示	(78)

5 第 5 章 Page

凸轮结构设计与工艺性 80

5.1	凸轮结构设计要点及禁忌	(80)
5.2	凸轮结构设计与工艺性实例分析	(80)
5.2.1	盘形凸轮结构常见结构设计错误及其改进	(80)
5.2.2	凸轮轴结构设计应注意问题	(81)
5.2.3	凸轮片调节结构	(82)
5.3	实例启示	(85)

6 第 6 章 Page

带轮结构设计与工艺性 87

6.1	带轮结构设计要点及禁忌	(87)
6.2	带轮结构设计与工艺性实例分析	(88)
6.3	实例启示	(91)

7 第 7 章 Page

箱体结构设计与工艺性 92

7.1	箱体结构设计要点及禁忌	(92)
7.2	箱体结构设计与工艺性实例分析	(93)
7.2.1	铸造箱体结构常见错误及其改进	(93)
7.2.2	焊接箱体结构常见错误及其改进	(108)
7.3	实例启示	(113)

8 第 8 章 Page

减速箱(变速箱)结构设计与工艺性 115

8.1	减速箱(变速箱)结构设计要点及禁忌	(115)
8.2	减速箱(变速箱)结构与装配工艺性实例分析	(116)
8.3	实例启示	(129)

9 第 9 章 **Page**
粉末冶金件结构设计与工艺性 130

CHAPTER

- 9.1 粉末冶金件结构设计要点及禁忌 (130)
- 9.2 粉末冶金件结构设计与工艺性实例分析 (131)
- 9.3 实例启示 (142)

10 第 10 章 **Page**
工程塑料件结构设计与工艺性 143

CHAPTER

- 10.1 工程塑料件结构设计要点及禁忌 (143)
- 10.2 工程塑料件结构设计与工艺性实例分析 (144)
- 10.3 实例启示 (157)

11 第 11 章 **Page**
矿用通风机 158

CHAPTER

- 11.1 矿用风机装配结构设计要点及禁忌 (158)
- 11.2 风机及零部件的结构设计与装配工艺性设计 (159)
 - 11.2.1 机壳(组) (160)
 - 11.2.2 叶轮组 (166)
 - 11.2.3 进风口组 (174)
 - 11.2.4 盖板组 (176)
 - 11.2.5 支架 (177)
 - 11.2.6 传动组 (178)
 - 11.2.7 风机总装配 (183)
- 11.3 实例启示 (188)

12 第 12 章 **Page**
专用数控机床 190

CHAPTER

- 12.1 机床装配结构设计要点及禁忌 (190)
- 12.2 专用数控机床及零部件的结构设计与装配工艺性设计 (191)
 - 12.2.1 机床结构设计 (191)
 - 12.2.2 X向(横向)装配 (194)
 - 12.2.3 Z向(纵向)传动装配 (200)
 - 12.2.4 床身部件装配 (205)
 - 12.2.5 六方电动刀架装配 (210)
 - 12.2.6 主轴箱(组件)装配 (211)
 - 12.2.7 主轴驱动装配 (217)
 - 12.2.8 机床床座(底座)部件装配 (218)
 - 12.2.9 数控机床总装配 (224)

13
CHAPTER

第 13 章
工业机器人

13.1 工业机器人结构设计要点及装配问题 (234)

13.2 工业机器人的结构设计 with 装配工艺性设计 (235)

 13.2.1 数控机床专用机器人 (236)

 13.2.2 热冲压机器人 (238)

 13.2.3 冷冲压型工业机器人 (241)

 13.2.4 板压型机器人 (244)

 13.2.5 装配操作机器人 (248)

 13.2.6 仓储和运输用操作机器人——堆垛机 (252)

 13.2.7 装卸用机器人 (254)

 13.2.8 组装操作夹持装置结构设计 (259)

13.3 实例启示 (263)

13
CHAPTER

参考文献

第1章

导论

1.1 本书的主要内容

全书主要由两大部分组成：第一部分为机械零部件结构设计实例；第二部分为典型设备装配工艺性。

本书的主要内容构架如图 1-1 所示。

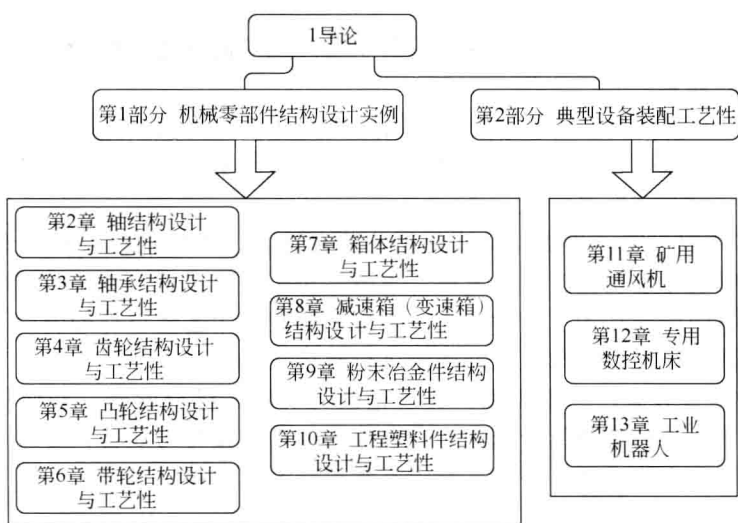


图 1-1 全书内容构架

第一部分首先由“轴结构设计及工艺性”、“轴承结构设计及工艺性”、“齿轮结构设计及工艺性”、“凸轮结构设计及工艺性”、“带轮结构设计及工艺性”、“箱体结构设计及工艺性”及“减速箱（变速箱）结构设计及工艺性”等组成；其次考虑到目前机械制造业的状况，特把“粉末冶金件结构设计及工艺性”及“工程塑料件结构设计及工艺性”加入其中。

某些部件实例图比较复杂，但为了直接描述其中的零件或局部关系，在表达时仅给出了简单图示，例如第 8 章中。

第二部分由“矿用通风机”、“专用数控机床”及“工业机器人”等组成。第二部分中“实例”涉及设备整体，其结构复杂且内容繁多。限于篇幅所限，仅从整体机械或主要零部

件角度进行分析,对实例的结构及装配进行概略性的介绍,更具体的零部件结构未能详细论述,因此其中的某些实例会有欠缺或不当之处。

本书对多种零部件的机械结构设计及其装配结构进行分析与禁忌对比;对多种非标典型机械进行装配工艺性的剖析。力图使读者深入理解机械结构设计及其工艺性的制造规律,尤其是掌握装配工艺性设计,达到灵活运用制造技术,合理进行机械设计的目的。

1.2 本书的内容特点

① 充分体现设计与制造、结构与装配一体化的思想。引导设计者在设计的初期便考虑工艺的可行性,如结构设计的合理性与装配工艺的可行性,为设计者避免犯装配工艺方面的错误提供有效的帮助。研究中始终坚持理论联系实际,从生产及设计实践的实例中提出问题,并在进行必要的工艺分析基础上给出适当的改进与防范措施。

② 简明扼要的写作风格。针对某一零部件或某一典型机械的具体结构,着重从工艺性或装配工艺性设计的角度考虑,依据实例的具体结构来解决结构与工艺相对应的问题。

③ 采用图形与文字融合的表达方式。书中涉及了数量较多的图形或图样,采用“原设计实例及结构特点”与“改进后结构设计特点”等简明扼要形式进行正误对比、互相对照,力求做到内容翔实并便于借鉴与应用。全书始终以“图形是工程的语言”为导向处理列举的实例,以工程图或图例的方式进行相关问题的阐述。

④ 不强求实例要素的完整性及完美性。实例图形中仅对具体实例进行分析与研究,把与具体实例有关的形体、尺寸等要素保留。为了使问题的阐述重点突出、图面清晰,去掉了无关的和重要的要素。

⑤ “改进前”的实例大多属于初期的原始资料,其存在的问题既具有个体性也具有多样性及多面性。为了保留研究资料的原始性,书中没有对原实例图样进行改动,这并不影响对问题的论述。

⑥ 注重基本知识、实用技能与科技创新的紧密结合。不仅让读者全面地了解机器的结构设计问题,同时也考虑到制造业的发展,本书特将矿用通风机、专用数控机床、工业机器人等列为典型设备的内容;为了让读者更清晰地理解装配工艺性设计的内容,本书同时对所述机器进行零部件的结构设计与工艺性问题进行解读或剖析。

⑦ 装配结构涉及较宽广的知识面,其理论性与实践性结合紧密,如何将理论知识、现场经验与工程技术人员的智慧结合起来,合理地利用现有设备与装备,建立一套适合于本企业的现代化装配工艺方法,还需要在实践中不断地探索与提高。



第2章

轴结构设计与工艺性

轴结构设计主要与轴计算与轴工艺性相关。

轴的结构设计包括决定轴的合理结构和全部结构尺寸。轴的结构设计以强度计算为基础,通常按扭转强度初步计算出轴端直径,如果该轴端需要开键槽,应将此轴径加大3%~7%,然后将轴径圆整成标准值并作为轴端最小直径。在此基础上再合理地定出轴的结构形状以及相关配置的结构。轴的合理外形应满足轴和装在轴上的零件定位准确,便于装拆和调整,轴应具有良好的制造工艺性等。

2.1 轴结构设计要点及禁忌

(1) 轴结构设计要点

轴的结构应便于加工、测量、装配及维修,在轴的结构设计时应注意以下几个问题。

- ① 轴的形状要力求简单,阶梯轴的级数应尽可能少,轴上各段的键槽、圆角半径、倒角、中心孔等尺寸应尽可能统一,以利于加工和检验。
- ② 对于阶梯轴常设计成两端小、中间大的形状,以便于零件从两端装拆。
- ③ 轴的结构设计应使各零件在装配时尽量不接触其他零件的配合表面,轴肩高度不能妨碍零件的拆卸。
- ④ 考虑加工工艺所必需的结构要素——中心孔、螺纹退刀槽、砂轮越程槽等。如轴上需磨削的轴段应设计出砂轮越程槽,需车制螺纹的轴段应有退刀槽。
- ⑤ 合理确定轴与轴上零件的配合性质、加工精度和表面粗糙度。
- ⑥ 轴的配合直径应按 GB/T 2822—2005 圆整为标准值。
- ⑦ 确定各段轴长度时应尽可能使结构紧凑,同时要保证零件所需的滑动距离和装配或调整所需空间,转动件不得与其他零件相碰撞;为保证轴向定位可靠,与轮毂装配的轴段长度应略小于轮毂宽(长)2~3mm。
- ⑧ 轴上所有零件应无过盈地达到配合部位。
- ⑨ 为便于导向和避免擦伤配合表面,轴的两端及有过盈配合的台阶处都应制成倒角。

(2) 轴结构设计禁忌

- ① 对于轴上要素,为了提高加工效率应该避免大的加工量;为了避免轴、孔间配合不紧凑,应尽量避免轴肩、轴环的重复定位;轴环应采用能够承受轴向载荷的宽度,以避免轴向压馈现象;为了方便拆卸与维修,应避免轴径和齿轮顶圆直径相差较大的结构;为了滚动

轴承拆卸方便, 在滚动轴承配合处, 其轴肩高度应避免高于滚动轴承内圈的高度。

② 尽量避免轴的结构要素产生应力集中。如轴的倒圆半径避免大于与之配合轴承的倒圆半径; 键槽底部倒角应避免过小, 以防应力集中; 键槽应避免应力集中区一定距离等。

③ 锥形轴应留有一定的圆柱段以避免夹持不便; 同一轴上的锥度应一致以避免对刀次数过多; 为了使轴结构简单, 应尽量减少锥形轴段。

④ 退刀槽尺寸应尽量保持一致, 避免多次换刀; 靠近轴肩的磨削表面处应留出越程槽, 以避免磨削精度不足。

⑤ 与毂孔配合的轴段应有过渡圆角与倒角, 以便于装配, 并可以避免直角产生的应力集中; 同一根轴上的倒角应保持一致, 避免换刀次数和装卡次数过多, 降低加工效率。

⑥ 应避免轴上键槽部位壁厚太小, 使得键槽部位产生应力集中, 影响轴的强度; 键槽开口方向应避免在不同的方向上。

2.2 轴结构设计与工艺性实例分析

2.2.1 轴结构设计常见错误及其改进

实例 2-1

① 原设计实例及结构特点 如图 2-1(a) 所示, 轴中段的加工量过多。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-1(b), 制成阶梯轴。

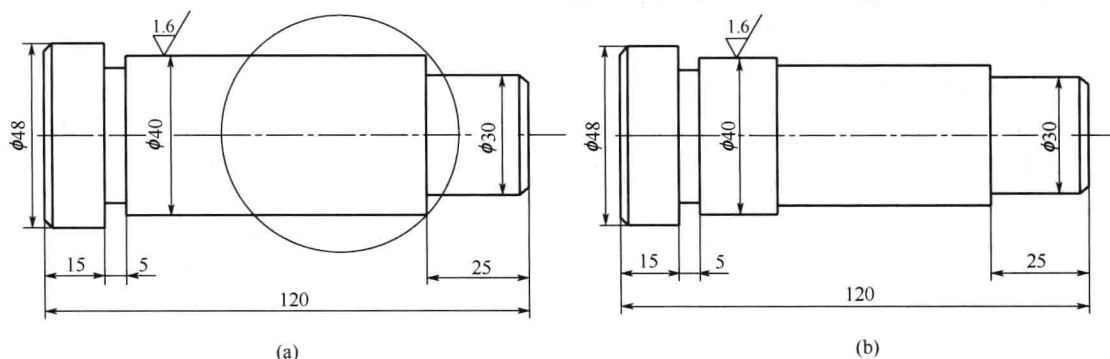


图 2-1 尽量减少加工量的结构 (一)

③ 工艺性分析对比 制成阶梯轴后不需保证精度的部分不加工、减少了加工量。

实例 2-2

① 原设计实例及结构特点 如图 2-2(a), 左右两段轴直径一致但却加工成有轴环的形式, 加工工作量大。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-2(b), 用弹性挡圈代替轴环。

③ 工艺性分析对比 当用弹性挡圈代替轴环时, 便于加工, 减少了加工工作量。

实例 2-3

① 原设计实例及结构特点 如图 2-3(a), 轴肩与轴环处重复定位, 可能导致轴与孔的配合不紧凑。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-3(b), 仅用锥轴定位。

③ 工艺性分析对比 单独用锥轴定位时可以避免重复定位, 配合紧凑。



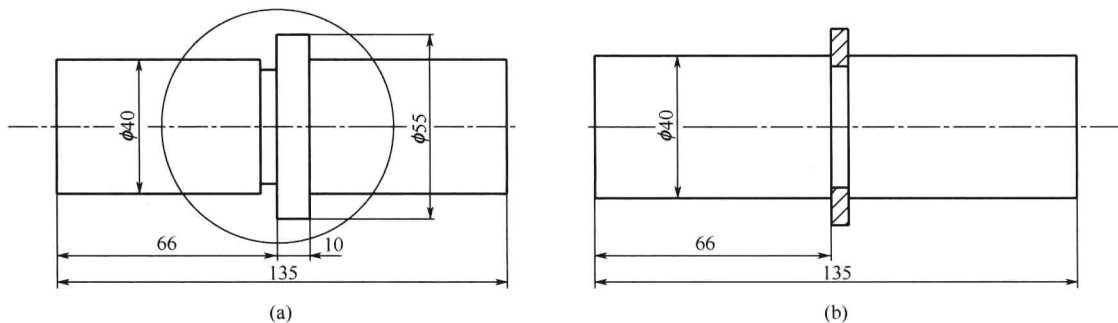


图 2-2 尽量减少加工量的结构 (二)

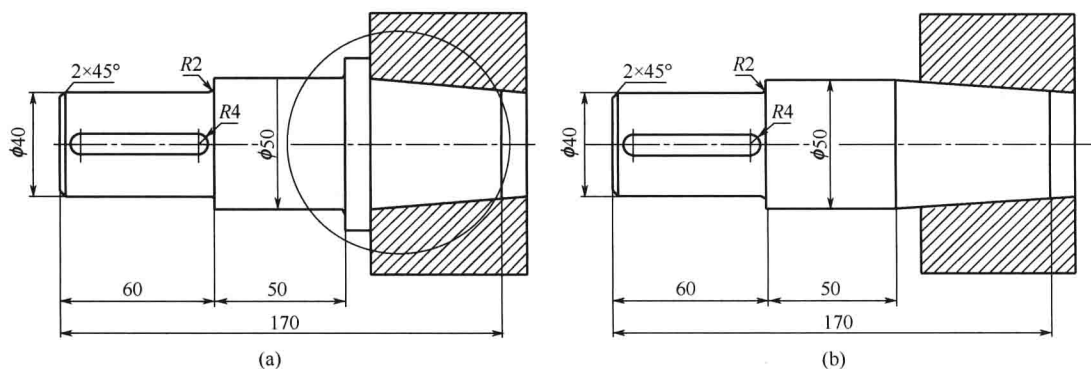


图 2-3 避免重复定位的结构

实例 2-4

① 原设计实例及结构特点 如图 2-4(a), 根据轴的使用情况, 即功率输出和轴向力的估算, 轴环设计宽度为 6mm, 不足以承受电动机转子的轴向力, 容易出现材料裂纹和断裂, 以致发生事故。

② 改进后轴结构设计特点 设计轴环宽度改为 10mm, 如图 2-4(b), 增加轴环宽度后, 轴环的强度能够承受转子在运转中的轴向力。

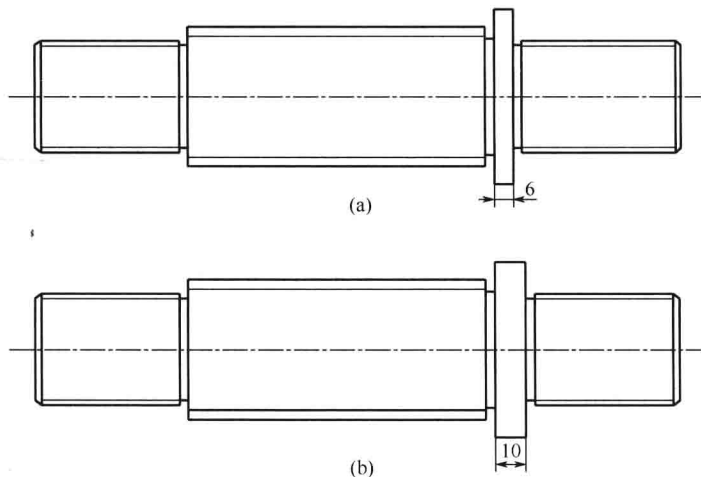


图 2-4 轴环应有足够承受轴向载荷的宽度



③ 工艺性分析对比 轴环应能承受较大的轴向力，定位精确。

轴环是用来在轴上承受轴向载荷的，通常在轴上设置轴环是为了固定齿轮等零件的一端，另一端用螺母或者用弹性挡圈来固定；轴环应有足够承受轴向载荷的宽度。

实例 2-5

① 原设计实例及结构特点 如图 2-5(a)，磨削时左右两段圆柱的同轴度不容易保证。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-5(b)，轴左端留出一段以供磨削时夹持用。

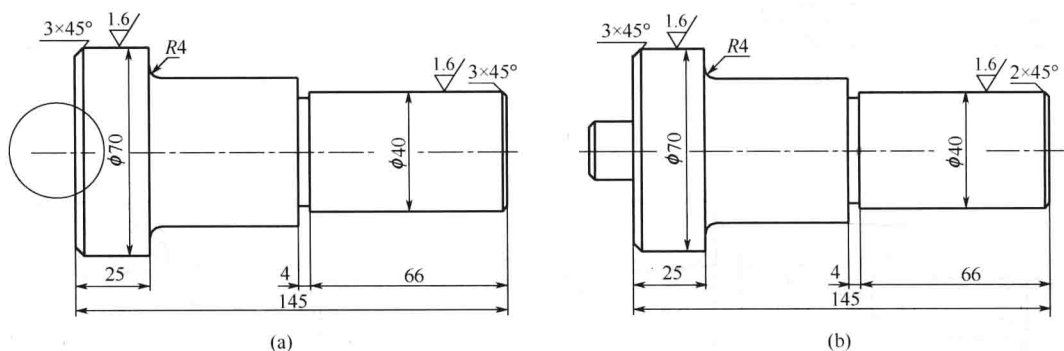


图 2-5 保证两段轴磨削时同轴度的结构

③ 工艺性分析对比 轴段设计时应保证各轴段的同轴度。轴的左端留一段供磨削时夹持用，则可保证两段轴磨削时的同轴度。

实例 2-6

① 原设计实例及结构特点 如图 2-6(a)，轴上零件固定方式不合理，没有充分发挥出轴肩的定位效果。用螺栓连接轴肩和轴上零件时不但会削弱轴肩的材料力学性能，而且没有发挥阶梯轴在轴向定位中的作用。在轴上零件的运转过程中完全靠螺栓的预紧力来克服轴向力，会很快让螺栓松动并导致轴环的失效。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-6(b)，则轴上零件固定合理，使轴环和阶梯轴的轴向定位作用充分发挥了出来，同时轴环的直径减小，轴的阶梯尺寸过渡良好，减少了应力集中，提高了轴的使用性能。

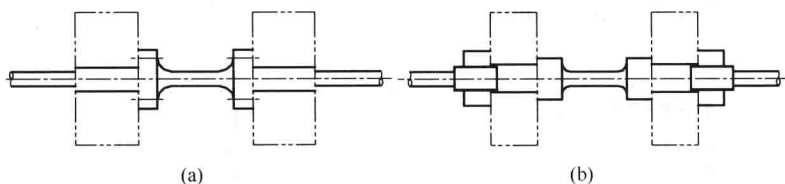


图 2-6 合理固定轴上零件的结构

③ 工艺性分析对比 轴上零件固定方式，直接影响着轴上零件的工作状况。合理的固定方式能使轴上零件获得良好的工作环境；不好的固定方式会使轴上零件左右晃动，使动力传递不均匀、零件和轴的结合面发生磨损。

实例 2-7

① 原设计实例及结构特点 如图 2-7(a)，轴径和齿轮顶圆直径相差较大，整料加工费工、费料，锻件不便于锻造。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-7(b)，轴与齿轮分别加工后再用键连接的结构形式，方便拆卸与维修。

③ 工艺性分析对比 轴与轴的传动连接应综合考虑毛坯选择、加工与装配工艺等问题。



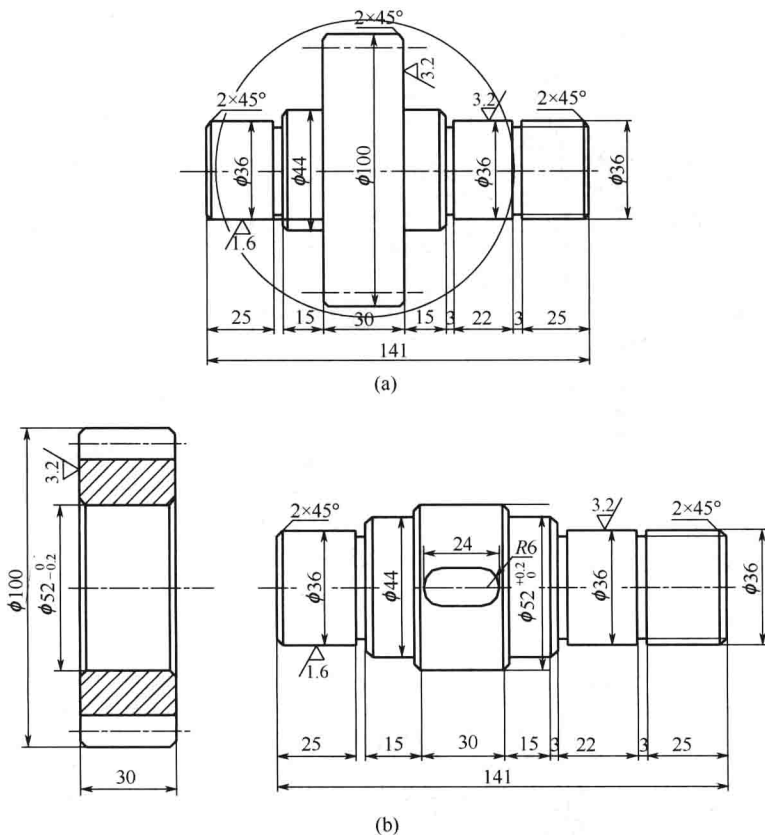


图 2-7 轴与齿轮分别加工的结构

实例 2-8

① 原设计实例及结构特点 如图 2-8(a)，曲轴上的孔存在应力，“1”处内孔孔口应有
一定角度的倒角，“2”处轴上的通孔应倒角或加滚珠碾压以减少应力集中。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-8(b) 则较为合理，即“1”处孔口加 60°倒角，
“2”处加 45°倒角再倒圆。

③ 工艺性分析对比 要尽量避免轴的结构要素产生应力集中。

实例 2-9

① 原设计实例及结构特点 如图 2-9(a)，轴上的通孔没有倒角或加滚珠碾压，易产生
应力集中。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-9(b)，即通孔加倒角或加滚珠碾压。

③ 工艺性分析对比 为了减少应力集中，通孔上应倒角或加滚珠碾压。

实例 2-10

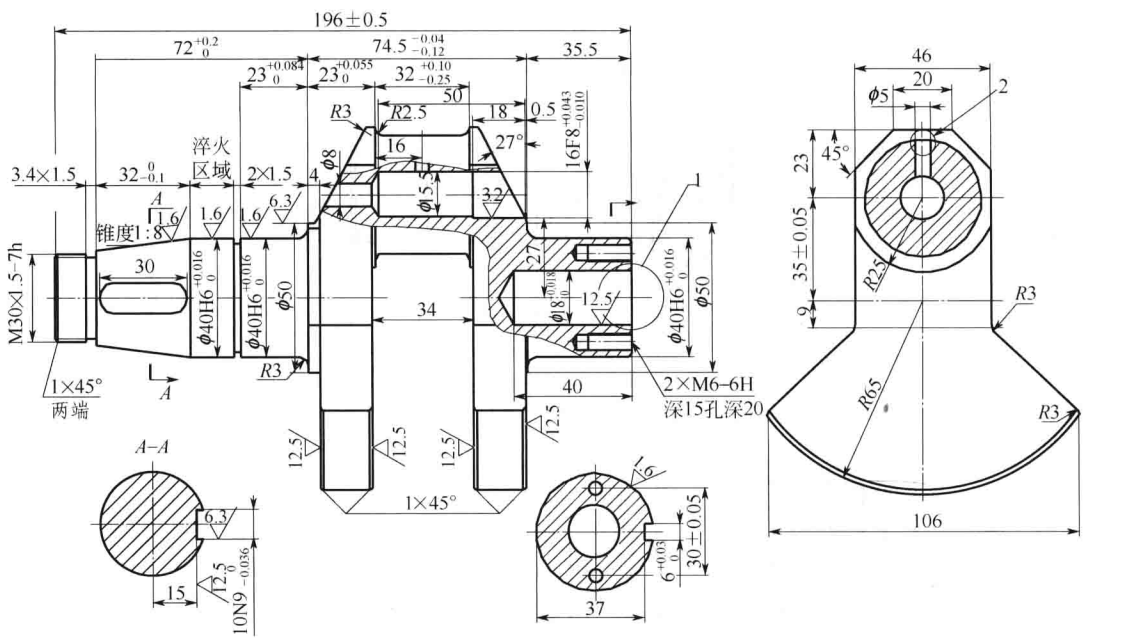
① 原设计实例及结构特点 如图 2-10(a)，轴的倒圆半径大于与之配合的轴承的倒圆半
径，难以保证轴向定位和配合紧凑。

② 改进后轴结构设计特点 改为图 2-10(b)，即轴的倒圆半径小于轴承的倒圆半径。

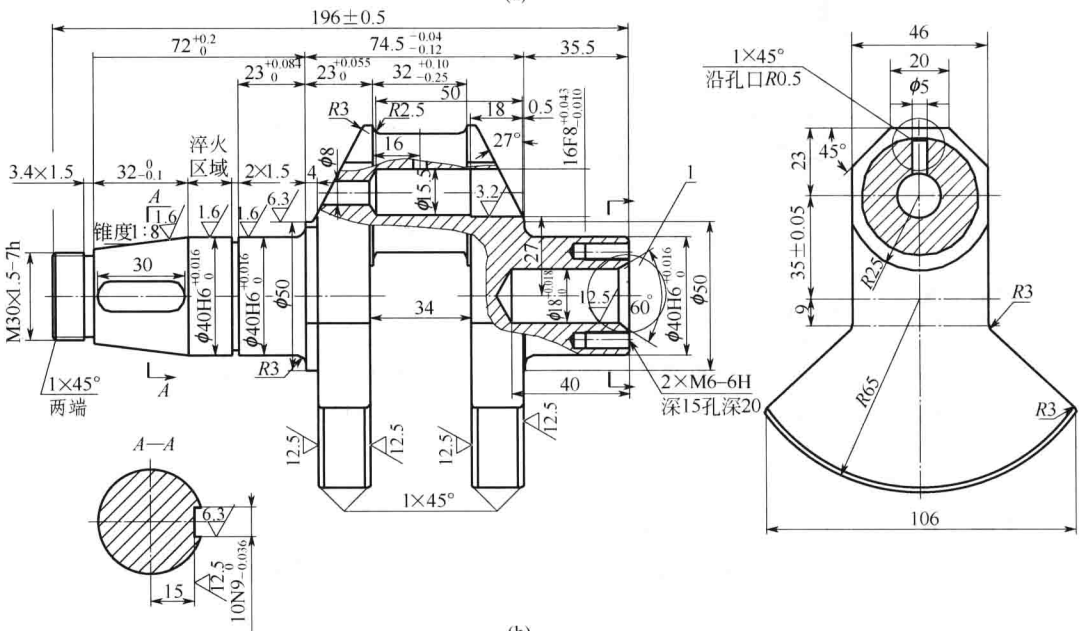
③ 工艺性分析对比 轴的倒圆半径应小于与之配合轴承的倒圆半径，以保证轴向定位
和配合紧凑。

实例 2-11

① 原设计实例及结构特点 如图 2-11(a)，轴上的盲孔使此处应力较集中，也易造成旋



(a)



(b)

图 2-8 减少曲轴上应力集中的结构

转的不平衡。

② 改进后轴结构设计特点 将其改为图 2-11(b)，即盲孔改为通孔，则应力集中减小，轴强度增大。

③ 工艺性分析对比 尽量避免轴上的盲孔。

实例 2-12

① 原设计实例及结构特点 发电机曲轴的结构如图 2-12(a)，实心曲轴自身的重量会加大旋转惯性力，造成曲轴在曲柄与曲轴连接的两侧处产生严重的应力集中，对曲轴承受交变载荷极为不利。