



机械零部件设计与实用数据速查丛书

轴系零部件设计 与实用数据速查

于惠力 冯新敏 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

机械零部件设计与实用数据速查丛书

轴系零部件设计与 实用数据速查

于惠力 冯新敏 编著



机械工业出版社

本书是为解决读者学习轴系零部件设计过程的方法与实用数据速查问题而编写的,全书共分四章,包括轴、滚动轴承、滑动轴承、联轴器和离合器几部分常用的轴系零部件。

本书概括介绍了常用轴系零部件的基本设计理论及方法,广泛收集了常用轴系零部件的实用设计数据,包括截止到2008年的最新国家标准及各种现行的设计标准,因此使用本书可以不必翻阅大量的手册及图册,即能解决轴系零部件的设计方法及数据速查问题。书中结合各种轴系零部件的工程设计实例,详细叙述了各种轴系零部件的设计方法,并结合设计实例说明如何进行数据速查,有利于读者仅利用同一本书就能在短时间内学会各种轴系零部件的设计及数据速查问题,尤其是国家标准速查问题。本书实用性强。

本书可为工程技术人员和大专院校师生进行轴系零部件的设计速查提供必要的参考,同时还可作为新标准的轴系零部件手册使用,也可作为高等工业学校机械类、近机类和非机类专业的学生学习“机械设计”、“机械设计基础”及进行课程设计、毕业设计的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

轴系零部件设计与实用数据速查/于惠力,冯新敏编著. —北京:机械工业出版社,2010.6

(机械零部件设计与实用数据速查丛书)

ISBN 978-7-111-30524-8

I. ①轴… II. ①于…②冯… III. ①轴承-零部件-机械设计
IV. ①TH133.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第076785号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:黄丽梅 责任编辑:韩冰

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年7月第1版·第1次印刷

169mm×239mm·25.5印张·512千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-30524-8

定价:39.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

为了使读者不必翻阅大量的手册而在较短的时间内学会常用零部件的设计方法及数据速查问题,我们编写了系列学习丛书——“机械零部件设计与实用数据速查丛书”《轴系零部件设计与实用数据速查》是其中的一本。

全书共分四章:第1章轴,第2章滚动轴承,第3章滑动轴承,第4章联轴器 and 离合器。书中以图表等形式给出了相应的轴系零部件设计所需要的全部内容。

每一章的内容包括:基本设计理论及方法、实用设计数据、设计与数据速查实例(含结构设计)等。我们在编写中尽量做到基本设计理论及方法部分简单扼要,高度概括了轴系零部件的基础理论和设计的基本方法;实用设计数据部分广泛收集了常用轴系零部件的实用设计数据,包括截止到2008年的最新国家标准及各种现行的设计标准,尽量做到新而全,使读者仅使用本书即可解决轴及轴上零部件的设计及数据速查问题,从而避免了翻阅大量手册的难题;设计与数据速查实例以设计例题的形式详细地给出了各种轴系零部件的设计计算过程、设计数据的详细查找方法及应注意的问题。

本书力求做到精选内容,联系实际,叙述简明,便于自学。

本书内容可自成体系,将常用轴系零部件的设计方法、设计实例、设计标准及标准速查合为一体,避免了机械工程设计人员需要翻阅大量的理论书籍、设计手册和图册方可进行轴系零部件设计的障碍,便于读者在较短的时间内尽快地深入掌握轴系零部件的设计方法和设计数据速查问题。

本书为机械工程设计人员和大专院校师生进行轴系零部件的设计方法和设计数据速查提供了必要的参考,也可作为高等工业学校机械类、近机类和非机类专业的学生学习“机械设计”、“机械设计基础”和进行相关课程设计、毕业设计的参考资料。

本书由于惠力(编写第1章、第2章)、冯新敏(编写第3章、第4章)编写。

由于编者水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,殷切希望广大读者对书中的错误和欠妥之处提出批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 轴	1
1.1 基本设计理论及方法	1
1.1.1 轴的类型、材料及选择原则	1
1.1.2 轴的结构设计	3
1.1.3 轴的强度计算	7
1.1.4 轴的刚度校核	13
1.1.5 轴的振动稳定性和临界转速	16
1.2 轴系零部件设计实用数据	17
1.2.1 常用轴的材料及其性能	17
1.2.2 轴的许用应力	19
1.2.3 各种截面轴的抗弯与抗扭截面系数计算公式	19
1.2.4 应力集中、表面状态和尺寸系数	20
1.2.5 轴结构设计实用数据	25
1.3 轴设计数据速查实例	47
第2章 滚动轴承	55
2.1 基本设计理论及方法	55
2.1.1 滚动轴承主要类型及其代号	55
2.1.2 滚动轴承载荷分析	65
2.1.3 滚动轴承寿命计算	67
2.1.4 滚动轴承静强度计算	70
2.1.5 滚动轴承极限转速计算	71
2.1.6 滚动轴承组合结构设计	71
2.2 滚动轴承设计实用数据	81
2.2.1 常用滚动轴承尺寸和主要性能参数	81
2.2.2 滚动轴承当量动载荷计算的 X 、 Y 值	123
2.2.3 滚动轴承当量静载荷计算的 X_0 、 Y_0 值	127
2.2.4 寿命计算相关的系数	127
2.2.5 角接触球（圆锥滚子）轴承成对安装轴向力的计算	128
2.2.6 滚动轴承组合结构设计	129
2.2.7 滚动轴承的公差与配合	131
2.2.8 滚动轴承的润滑与密封	135
2.3 滚动轴承数据速查实例	152

2.3.1 代号表示速查实例	152
2.3.2 寿命计算数据速查实例	154
2.3.3 组合结构设计速查实例	162
2.3.4 轴承润滑与密封速查实例	164
第3章 滑动轴承	166
3.1 基本设计理论及方法	166
3.1.1 滑动轴承分类、特点及应用	166
3.1.2 滑动轴承的失效形式及常用材料	167
3.1.3 不完全液体润滑滑动轴承设计计算	168
3.1.4 脂、油绳和滴油润滑径向滑动轴承	170
3.1.5 液体动压径向滑动轴承	172
3.1.6 液体动压推力滑动轴承	180
3.2 滑动轴承的设计实用数据	185
3.2.1 滑动轴承常用材料及其性能	185
3.2.2 脂、油绳和滴油润滑径向滑动轴承设计数据	192
3.2.3 液体动压径向滑动轴承的载荷数曲线	194
3.2.4 液体动压径向滑动轴承的流量数曲线	196
3.2.5 液体动压径向滑动轴承的偏位角与偏心率的关系曲线	199
3.2.6 液体动压径向滑动轴承的摩擦特性因数与偏心率的关系曲线	200
3.2.7 液体动压径向滑动轴承油膜刚度因子、阻尼因子与载荷数的关系曲线	202
3.2.8 滑动轴承的基本形式	203
3.2.9 径向轴承供油槽	204
3.2.10 标准轴瓦的标准形式与尺寸	204
3.2.11 轴承座的结构尺寸	221
3.2.12 液体动压推力轴承设计数据	226
3.2.13 润滑及润滑装置	230
3.3 滑动轴承数据速查实例	237
3.3.1 非液体润滑轴承设计数据速查实例	237
3.3.2 液体动压径向滑动轴承数据速查实例	239
3.3.3 液体动压推力轴承数据速查实例	243
第4章 联轴器和离合器	247
4.1 基本设计理论及方法	247
4.1.1 概述	247
4.1.2 联轴器的选择与计算	248
4.1.3 离合器的选择与计算	250
4.1.4 部分联轴器的外形尺寸关系	252
4.2 联轴器设计实用数据	253
4.2.1 联轴器轴孔和键槽形式 (GB/T 3852—2008)	253

4.2.2	凸缘联轴器 (GB/T 5843—2003)	260
4.2.3	套筒联轴器	263
4.2.4	夹壳联轴器	266
4.2.5	弹性套柱销联轴器 (GB/T 4323—2002)	268
4.2.6	弹性柱销齿式联轴器 (GB/T 5015—2003)	272
4.2.7	弹性柱销联轴器 (GB/T 5014—2003)	283
4.2.8	挠性杆联轴器 (GB/T 14653—2008)	293
4.2.9	梅花形弹性联轴器 (GB/T 5272—2002)	299
4.2.10	滚子链联轴器 (GB/T 6069—2002)	307
4.2.11	WS、WSD 型十字轴万向联轴器	308
4.2.12	SWC 型整体叉头十字轴式万向联轴器 (JB/T 5513—2006)	310
4.2.13	鼓形齿式联轴器	319
4.2.14	轮胎式联轴器 (GB/T 5844—2002)	335
4.2.15	钢球式安全节能安全联轴器 (离心离合器)	337
4.3	离合器实用数据	345
4.3.1	设计选用系数速查	345
4.3.2	摩擦片、摩擦副及摩擦块相关数据	346
4.3.3	牙嵌离合器	348
4.3.4	摩擦离合器	353
4.3.5	磁粉离合器 (JB/T 5988—1992)	356
4.3.6	牙嵌式电磁离合器 (JB/T 10611—2006)	359
4.3.7	液粘调速离合器 (GB/T 15096—2008)	363
4.3.8	单向楔块超越离合器 (JB/T 9130—2002)	363
4.3.9	剪销式安全离合器	369
4.3.10	牙嵌式安全离合器	370
4.3.11	钢球式安全离合器	372
4.3.12	摩擦式安全离合器	374
4.3.13	ALY 液压安全离合器 (联轴器) (JB/T 7355—2007)	378
4.3.14	离心离合器	388
4.4	联轴器和离合器的设计数据速查实例	389
4.4.1	联轴器设计数据速查实例	389
4.4.2	离合器设计数据速查实例	394
附录		399
附表1	轴的极限偏差	399
附表2	减速器轴承座孔的 c_1 、 c_2 值	400
附表3	普通螺纹基本牙型及基本尺寸	400
附表4	A 系列滚子链的主要参数	400
参考文献		402

第 1 章 轴

1.1 基本设计理论及方法

1.1.1 轴的类型、材料及选择原则

1. 轴的类型

根据轴线形状的不同，轴可分为直轴（图 1-1）、曲轴（图 1-2）和挠性钢丝轴（图 1-3）。

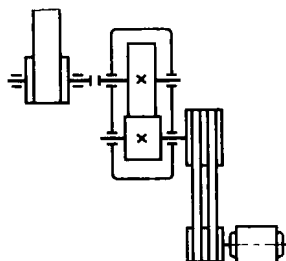


图 1-1 直轴

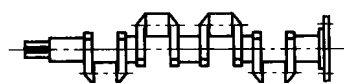


图 1-2 曲轴

根据轴的承载情况不同，直轴可分为转轴、心轴和传动轴三类。这三种轴的承载情况及特点见表 1-1。

2. 轴的材料及选择原则

（1）轴的选材原则 一般工作条件下的轴，广泛应用碳素钢制造，又以 45 钢为多。碳素钢较合金钢价廉且对应力集中不太敏感；在高温、低温、腐蚀或重载条件下工作的轴用合金钢制造。

（2）轴的材料

1) 碳素钢。优质中碳钢 30 ~ 50 钢因具有较高的综合力学性能，常用于比较重要或承载较大的轴，其中 45 钢应用最广。对于这类材料，可通过调质或正火等热处理方法改善和提高其力学性能。普通碳素钢 Q235、Q275 等可用于不重要或承载较小的轴。

2) 合金钢。合金钢具有较高的综合力学性能和较好的热处理性能，常用于重要性很强、承载很大而质量、尺寸受限或有较高耐磨性、防腐性要求的轴。例如，

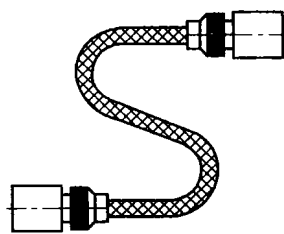
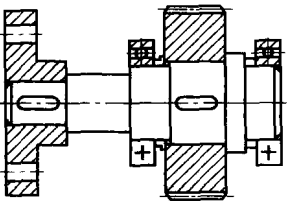
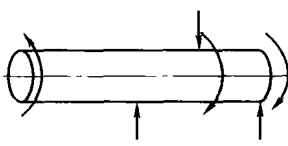
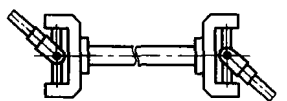
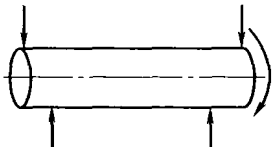
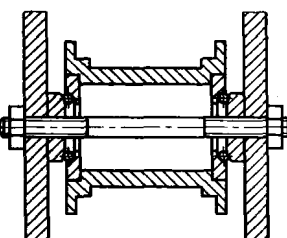


图 1-3 挠性钢丝轴

采用滑动轴承的高速轴常用 20Cr、20CrMnTi 等低碳合金钢，经渗碳淬火后可提高轴颈耐磨性；汽轮发电机转子轴在高温、高速和重载条件下工作，必须具有良好的高温力学性能，常采用 27Cr2Mo1V、38CrMoAlA 等合金结构钢。值得注意的是：钢材的种类和热处理对其弹性模量影响甚小，因此，如欲采用合金钢代替碳素钢或通过热处理来提高轴的刚度，收效甚微。此外，合金钢对应力集中较敏感，且价格较高。

表 1-1 转轴、传动轴和心轴的承载情况及特点

种类	举例	受力简图	特点
转轴			既承受弯矩又承受转矩，是机器中最常用的一种轴。剖面上受弯曲应力和扭应力的复合作用
传动轴			主要承受转矩，不承受弯矩或承受很小弯矩；仅起传递动力的作用
转动心轴			只承受弯矩，不承受转矩；起支承作用。转动心轴的剖面上受变应力
固定心轴			只承受弯矩，不承受转矩；起支承作用。固定心轴的剖面上受静应力

3) 球墨铸铁。球墨铸铁适于制造成形轴（如曲轴、凸轮轴等），它具有价廉、强度较高、良好的耐磨性、吸振性和易切性以及对应力集中较不敏感等优点。但铸铁件品质不易控制，可靠性差。

1.1.2 轴的结构设计

轴的结构设计就是要确定轴的合理外形和包括各轴段长度、直径及其他细小尺寸在内的全部结构尺寸。

轴的结构受多方面因素的影响，不存在一个固定形式，它随着工作条件与要求的不同而变化。轴的结构设计一般应考虑以下两方面主要问题：一是为实现轴的功能，必须保证轴上零件有准确的工作位置，要求轴上零件沿周向和轴向固定；二是在进行轴的结构设计时，应尽可能使轴的形状简单，并具有良好的加工工艺性能和装配工艺性能。

1. 轴上零件的固定

(1) 周向固定 零件的周向固定可采用键、花键、成形、销、弹性环、过盈等连接，常见的固定方法如图 1-4 所示。

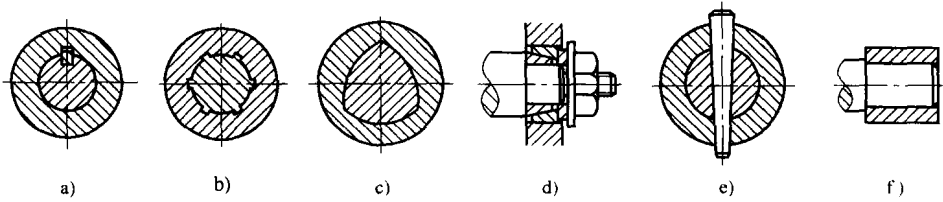


图 1-4 轴上零件的周向固定方法

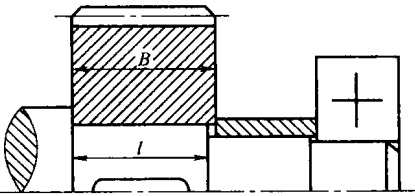
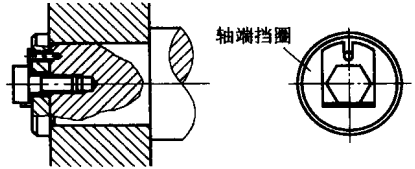
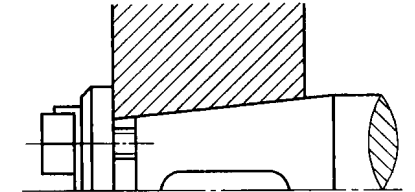
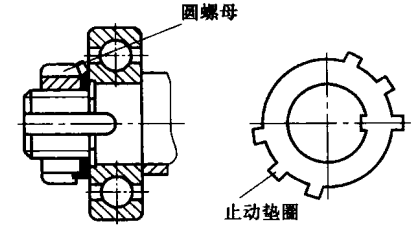
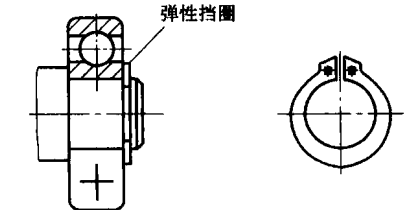
a) 键联接 b) 花键联接 c) 成形连接 d) 弹性环连接 e) 销联接 f) 过盈连接

(2) 轴向固定 常见的轴向固定方法及特点与应用见表 1-2。其中轴肩、轴环、套筒、轴端挡圈及圆螺母应用最为广泛。为保证轴上零件沿轴向固定，可将表 1-2 中各种方法联合使用；为确保固定可靠，与轴上零件相配合的轴段长度应比轮毂略短，如表 1-2 中的套筒结构简图所示， $l = [B - (1 \sim 3)] \text{ mm}$ 。

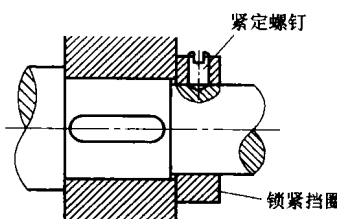
表 1-2 轴上零件的轴向固定方法及特点与应用

轴向固定方法及结构简图		特点和应用	设计注意要点
轴肩与轴环		简单可靠，不需附加零件，能承受较大轴向力。广泛应用于各种轴上零件的固定。该方法会使轴径增大，阶梯处形成应力集中，且阶梯过多将不利于加工	为保证零件与定位面靠紧，轴上过渡圆角半径 r 应小于零件圆角半径 R 或倒角 C ，即 $r < C < a, r < R < a$ ；一般取定位高度 $a = (0.07 \sim 0.1) d$ ，轴环宽度 $b = 1.4a$

(续)

	轴向固定方法及结构简图	特点和应用	设计注意要点
套筒		简单可靠,简化了轴的结构且不削弱轴的强度。常用于轴上两个近距离零件间的相对固定。不宜用于高速轴	套筒内孔与轴的配合较松,套筒结构、尺寸可根据需要灵活设计
轴端挡圈		工作可靠,结构简单,能承受较大轴向力,应用广泛	只用于轴端。应采用止动垫片等防松措施
锥面		装拆方便,可兼作周向固定。宜用于高速、冲击及对中性要求高的场合	只用于轴端。常与轴端挡圈联合使用,实现零件的双向固定
圆螺母		固定可靠,可承受较大轴向力,能实现轴上零件的间隙调整。常用于轴上两零件间距较大处及轴端	为减小对轴端强度的削弱,常用细牙螺纹。为防松,必须加止动垫圈或使用双螺母
弹性挡圈		结构紧凑、简单,装拆方便,但受力较小,且轴上切槽将引起应力集中。常用于轴承的固定	轴上切槽尺寸见 GB/T 894.1—1986

(续)

轴向固定方法及结构简图		特点和应用	设计注意要点
紧定螺钉与锁紧挡圈		结构简单,但受力较小,且不适于高速场合	

2. 轴的加工工艺性和装配工艺性

(1) 加工工艺性 轴的直径变化应尽可能少,尽量限制轴的最大直径与各轴段的直径差,这样既能节省材料,又可减少切削量。

轴上有磨削与切螺纹处,要留砂轮越程槽和螺纹退刀槽(图 1-5,尺寸见表 1-27 和表 1-28),以保证加工的完整和方便。

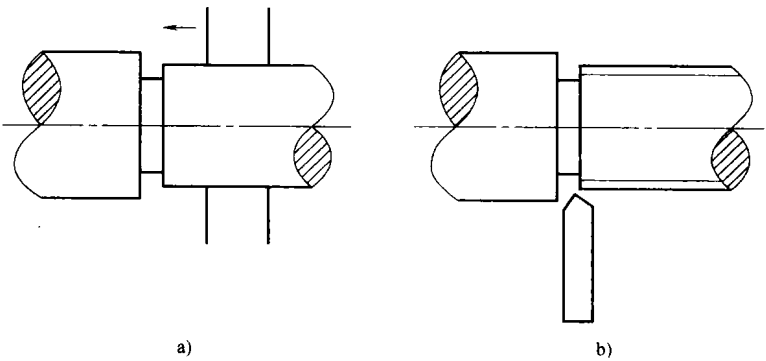


图 1-5 砂轮越程槽与螺纹退刀槽

a) 砂轮越程槽 b) 螺纹退刀槽

轴上有多个键槽时,应将它们布置在同一直线上,以免加工键槽时多次装夹,从而提高生产率。

如有可能,应使轴上各过渡圆角、倒角、键槽、越程槽、退刀槽及中心孔等尺寸分别相同,并符合标准和规定,以利于加工和检验。

轴上配合轴段直径应取标准值(表 1-23),与滚动轴承配合的轴颈应按滚动轴承内径尺寸选取,轴上的螺纹部分直径应符合螺纹标准等。

(2) 装配工艺性 为了便于轴上零件的装配,常采用直径从两端向中间逐渐增大的阶梯轴。轴上的各阶梯,除轴上零件轴向固定的可按表 1-2 确定轴肩高度

外，其余仅为便于安装而设置的轴肩，轴肩高度可取 0.5 ~ 3mm。

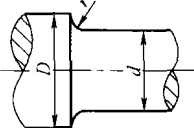
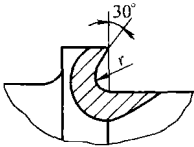
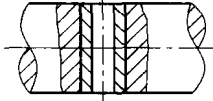
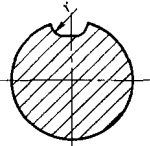
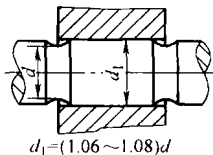
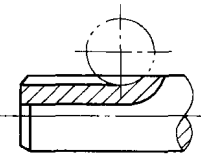
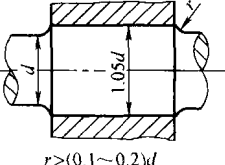
轴端应倒角，以去掉毛刺并便于装配。

固定滚动轴承的轴肩高度通常应不大于内圈高度的 3/4，过高不便于轴承的拆卸，具体值可见滚动轴承的安装尺寸。

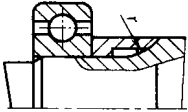
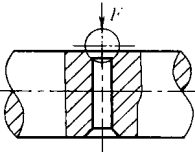
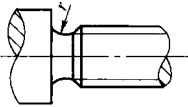
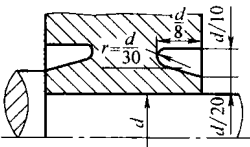
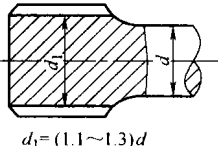
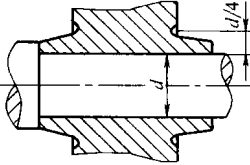
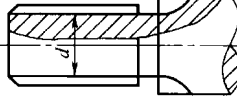
轴通常在变应力下工作，多数因疲劳而失效，因此设计轴时，应设法提高其疲劳强度。常采取的措施有：

1) 改进轴的结构形状，降低应力集中。尽量使轴径变化处过渡平缓，宜采用较大的过渡圆角，或者加工出减载槽、退刀槽，如相配合零件内孔倒角或圆角很小时，可采用凹切圆角或过渡肩环，具体的措施见表 1-3。

表 1-3 降低轴上应力集中的主要措施举例

结构名称	简图	措施	结构名称	简图	措施
圆角		加大圆角半径 $r/d > 0.1$ 减小直径差 $D/d < 1.15 \sim 1.2$	横孔	 K_{σ} 减小约30%	不通孔改成通孔
		加内凹圆角			压入弹性小的衬套
键槽		底部加圆角	过盈配合	 K_{σ} 减小约40% $d_1 = (1.06 \sim 1.08)d$	增大配合处直径
		用圆盘铣刀		 K_{σ} 减小30%~40% $r > (0.1 \sim 0.2)d$	轴上开卸载槽并滚压

(续)

结构名称	简图	措施	结构名称	简图	措施
圆角		加大圆角半径, 设中间环	横孔		孔上倒角或滚珠辗压
		加退刀圆角			轮毂上开卸载槽
花键		增大花键直径 $d_1 = (1.1 \sim 1.3)d$	过盈配合		减小轮毂端部厚度
		花键加退刀槽			

注: κ_σ ——弯曲时的有效应力集中系数。

避免在轴上打印及留下一些不必要的痕迹, 因为它们可能成为初始疲劳裂纹源。

2) 改善轴的表面状态。实践证明, 采用滚压、喷丸或渗碳、碳氮共渗、氮化、高频感应加热淬火等表面强化处理方法, 可以大大提高轴的承载能力。

1.1.3 轴的强度计算

轴的强度计算主要有三种方法: 按许用切应力计算, 按许用弯曲应力计算, 安全系数校核计算。按许用切应力计算只需知道转矩的大小, 方法简便, 常用于传动轴的强度计算和转轴基本直径的估算。按许用弯曲应力计算必须先知道作用力的大小和作用点的位置、轴承跨距、各段轴径等参数, 主要用于计算一般重要的、弯扭复合作用的轴。安全系数校核计算要在结构设计后进行, 不仅要先已知轴的各段轴径, 而且要已知过渡圆角、过盈配合、表面粗糙度等细节, 主要用于重要轴的强度计算。

1. 按许用切应力计算

传动轴只受转矩的作用,可直接按许用切应力设计其轴径。转轴受弯扭复合作用,在设计开始时,因为各轴段长度未定,轴的跨距和轴上弯矩大小是未知的,所以不能按轴所受弯矩来计算轴径。通常是按轴所传递的转矩估算出轴上受扭转轴段的最小直径,并以其作为基本参考尺寸进行轴的结构设计。

由材料力学可知,实心圆轴的抗扭强度条件为

$$\tau_T = \frac{T}{W_T} \approx \frac{9.55 \times 10^6 \frac{P}{n}}{0.2d^3} \leq [\tau_T] \quad (1-1)$$

由此得到轴的基本直径为

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2[\tau_T]n}} = C \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (1-2)$$

式中, d 是轴的直径 (mm); τ_T 是轴的切应力 (MPa); T 是轴传递的转矩 (N·mm); P 是轴传递的功率 (kW); n 是轴的转速 (r/min); W_T 是轴的抗扭截面系数 (mm³), 对实心轴 $W_T = \pi d^3/16 \approx 0.2d^3$; $[\tau_T]$ 是许用切应力 (已考虑弯矩对轴的影响) (MPa); C 是计算常数, 取决于轴的材料及受力情况, 见表 1-4。

表 1-4 轴常用材料的 $[\tau_T]$ 和 C 值

轴的材料	Q235、20	35	45	40Cr、35SiMn、38SiMnMo、2Cr13
$[\tau_T]/\text{MPa}$	12 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
C	160 ~ 135	135 ~ 118	118 ~ 106	106 ~ 98

注: 当轴所受弯矩较小或只受转矩时, C 取小值; 否则取较大值。

另外, 若当按式 (1-2) 求得直径的轴段上开有键槽时, 应适当增大轴径, 单键槽增大 3%, 双键槽增大 7%。然后将轴径圆整 (见表 1-23)。

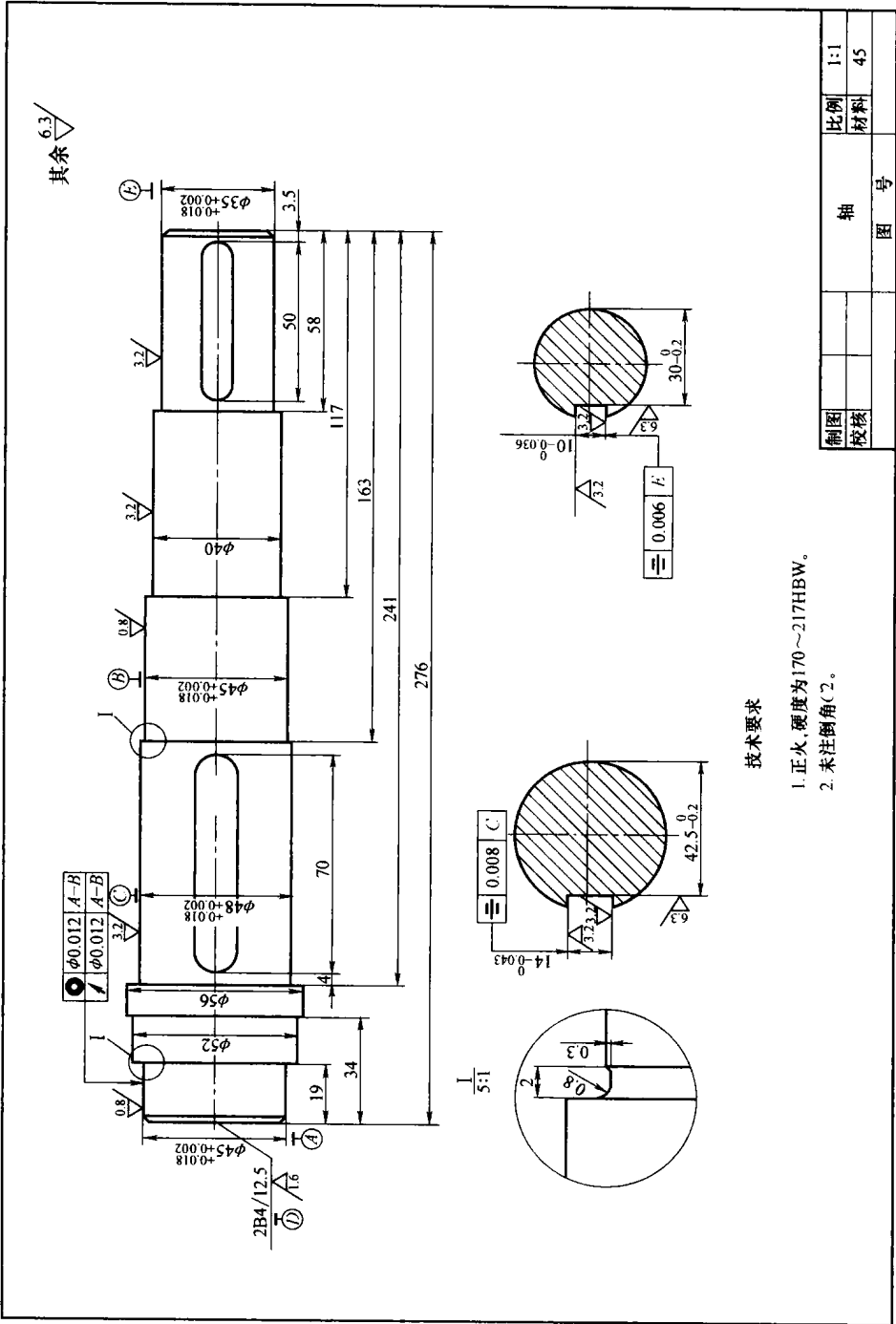
2. 按许用弯曲应力计算

在设计转轴时, 首先由式 (1-2) 估算出轴的基本直径, 并依此完成轴的结构设计, 当轴上零件的位置确定后, 轴上载荷的大小、位置以及支点跨距等便均能确定。此时就可按许用弯曲应力校核轴的强度。

现以图 1-6 所示的单级斜齿圆柱齿轮减速器的低速轴 II 为例来介绍按许用弯曲应力校核轴强度的方法。如该轴的结构 (图 1-7a) 已初步确定, 则校核的一般顺序如下:

1) 画出轴的空间受力简图 (图 1-7b)。为简化计算, 将齿轮、链轮等传动零件对轴的载荷视为作用于轮毂宽度中点的集中载荷; 将支反力作用点取在轴承的载荷作用中心; 不计零件自重。

将齿轮等轴上零件对轴的载荷分解到水平面和垂直面内。



制图	审核	轴	图号
比例	1:1	材料	45

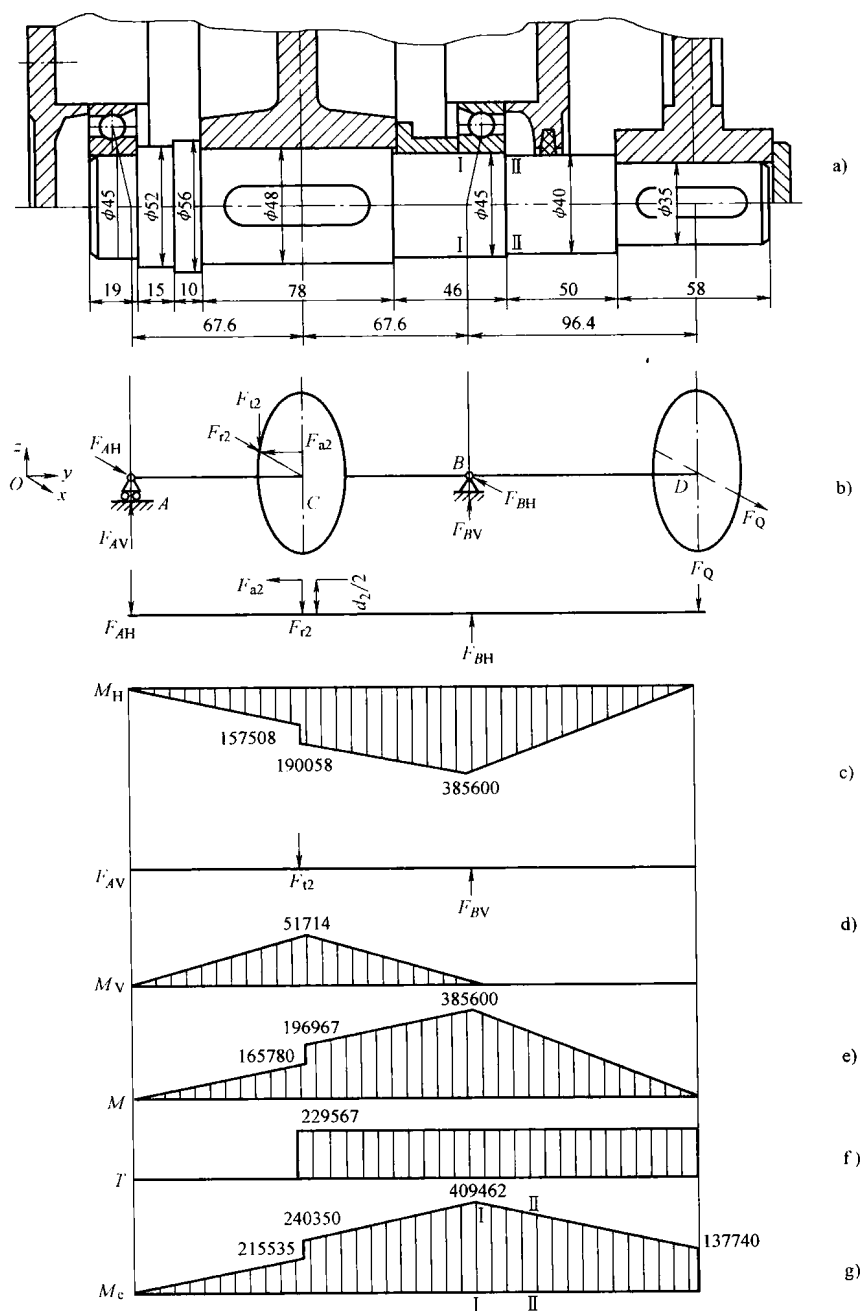


图 1-7 轴的结构与受力分析