

高等学校教材



机械设计

课程设计课题 及指南

上海交通大学机械设计教研室

沈继飞 主编

JIXIE SHEJI

KECHENG SHEJI KETI

JI ZHINAN

高等教育出版社

本书是“机械设计”课程设计教材。全书共十五章。第一章和第二章扼要阐述机械设计的基本知识，第三至十五章按题立章，分别介绍各选列课题的设计。在选列的设计课题中，一部分属常规内容但具新意，其余课题所涉内容虽在本课程的理论教学中有所述及，但本书适当地予以外延、深入和提高。由于选列的课题反映了多层次性，故对提高课程设计的教学质量和教学水平是有所裨益的。

本书主要用作高等工业学校机械类、近机类专业的教材，也可供其他有关专业的师生和工程技术及科研人员参考。

高等学校教材
机 械 设 计
课程设计课题及指南
上海交通大学机械设计教研室
沈继飞 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店总店北京科技发行所发行
国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张20.75 字数510 000

1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷

印数0 001—4 750

ISBN 7-04-003069-1/TH·241

定价4 10元

序

“机械设计”课程最重要的两个教学环节是“理论教学”和“课程设计”。通常，本课程的“课程设计”是高等工业学校学生教学计划中规定的第一次设计实践，它对培养我国从事“四化”建设的高级工程技术人员起着十分重要的作用。

迄今30多年以来，课程设计题目大多采用常规的齿轮及蜗杆减速器。随着科学技术的不断进步，生产实践中已经出现并应用许多提高生产率的机械设备和装置，其中不少都是先进的新型装置，而“机械设计”课程的理论教学内容中也已作了不同程度的更新和扩大。因此，继续比较单一地采用常规减速器作为本课程的设计实践题目显然已不符合我国当前时代的要求，所以应当进行改革。

上海交通大学在“课程设计”教学方面的改革探索工作始于60年代初期，“文革”结束后继续进行了这一探索。本书所选列的设计课题，就是我们所作探索工作的部分成果。

本书共十五章，除第一、二章外，选列了十三个设计课题而各自成章。考虑到教学的多层次性，所选列的课题有简有繁、有大有小和有难有易。但总的说来，它们都是我国生产实践中应用较为广泛、在本课程理论教学中有所述及并符合设计教学学时要求的设计课题。另应说明的是，由于各个课题的特点不一，所以有关各章课题的编写程式可能有所不同。虽然如此，编者主观上力求做到阐述扼要、思路清晰、条理分明和文字通顺，既使读者易于掌握设计方法，又着重于设计能力的培养。

本书由沈继飞主编，各章分工如下：沈继飞——第一、二、三、四、五、六、八、九和十三章；谢绍玄——第七、十、十一和十二章；王成焘——第十四章；丁振华——第十五章。在编写过程中，辛一行教授给予了关心和支持。

本书经浙江大学全永昕教授和马骥教授审稿，提出了宝贵意见和建议，对本书质量的提高有很大帮助，谨致衷心的感谢。

本教材系初次编写，国内外尚未见有同类著作，限于作者的水平，书中不妥和谬误之处恐所难免，尚请广大读者指正。意见请寄北京沙滩后街55号高等教育出版社转。

编 者

1989年6月于上海交通大学

目 录

序	1	§ 6-5 传动的受力分析	102
第一章 绪论	1	§ 6-6 传动的效率	103
§ 1-1 机械设计的一般程序	1	§ 6-7 传动的失效和计算准则	104
§ 1-2 机械设计课程设计的目的	2	§ 6-8 材料和许用接触应力	105
§ 1-3 设计课题的选定、工作量 及内容	3	§ 6-9 承载能力计算	107
第二章 机械中的传动装置	7	§ 6-10 传动的润滑和冷却	110
§ 2-1 概述	7	§ 6-11 传动的精度和公差	113
§ 2-2 机械传动型式的选择	7	§ 6-12 设计及计算示例	118
§ 2-3 多级传动	8	§ 6-13 设计题目	126
§ 2-4 减速器	13	第七章 NGW (2K-H)型行星齿轮 传动设计	127
§ 2-5 无级变速器	29	§ 7-1 概述	127
§ 2-6 传动装置设计步骤	35	§ 7-2 运动计算和变位计算	128
第三章 电动机减速器设计	37	§ 7-3 NGW 型行星齿轮传动的强度 计算特点	132
§ 3-1 概述	37	§ 7-4 结构	134
§ 3-2 双级固定轴同轴线式齿轮传动 电动机减速器的设计	38	§ 7-5 设计及计算示例	154
§ 3-3 设计题目	50	§ 7-6 设计题目	159
第四章 焊接环形焊缝的机械装备设计	51	第八章 摆线针轮行星传动设计	160
§ 4-1 概述	51	§ 8-1 引言	160
§ 4-2 机动式焊接机械装备	51	§ 8-2 传动比	161
§ 4-3 驱动力矩和电动机功率	53	§ 8-3 啮合原理和主要参数及尺寸	162
§ 4-4 焊接机械装备的结构和 强度计算	58	§ 8-4 输出机构 (FF 机构)	169
§ 4-5 设计及计算示例	72	§ 8-5 传动装置中主要零件的 作用力分析	170
§ 4-6 设计题目	73	§ 8-6 传动中主要零件的承载能力 计算	173
第五章 凉水塔风机传动装置设计	76	§ 8-7 设计及计算示例	180
§ 5-1 概述	76	§ 8-8 设计题目	191
§ 5-2 风机传动装置	77	第九章 谐波齿轮传动设计	193
§ 5-3 凉水塔用风机的传动装置 设计	79	§ 9-1 特点、工作原理和传动比	193
§ 5-4 设计题目	94	§ 9-2 谐波传动的结构	194
第六章 圆弧齿圆柱蜗杆传动设计	95	§ 9-3 主要零件的结构和材料	195
§ 6-1 引言	95	§ 9-4 主要零件的设计和计算	199
§ 6-2 动力蜗杆传动的质量指标	95	§ 9-5 设计及计算示例	206
§ 6-3 传动的主要参数	96	§ 9-6 设计题目	218
§ 6-4 齿形参数和几何尺寸	100	第十章 钢环无级变速器设计	219
		§ 10-1 概述	219

§ 10-2	设计计算	220
§ 10-3	结构	230
§ 10-4	设计及计算示例	234
§ 10-5	设计题目	240
第十一章	带式无级变速器设计	241
§ 11-1	概述	241
§ 11-2	运动关系、力分析和几何关系	242
§ 11-3	结构	247
§ 11-4	宽三角带无级变速器的设计	251
§ 11-5	设计及计算示例	260
§ 11-6	设计题目	262
第十二章	电动滚筒设计	263
§ 12-1	概述	263
§ 12-2	电动滚筒的结构	264
§ 12-3	设计计算	268
§ 12-4	设计及计算示例	270
§ 12-5	设计题目	273

第十三章	型材切割机设计	274
§ 13-1	概述	274
§ 13-2	对砂轮的要求	274
§ 13-3	设计及计算示例	275
§ 13-4	设计题目	287
第十四章	滚动轴承清洗装置设计	288
§ 14-1	概述	288
§ 14-2	轴承清洗机的设计	289
§ 14-3	设计及计算示例	295
§ 14-4	设计题目	301
第十五章	铁水浇包倾转机构的设计	302
§ 15-1	倾转机构的应用与特点	302
§ 15-2	倾转机构的结构	302
§ 15-3	倾转机构的设计计算	309
§ 15-4	设计及计算示例	319
§ 15-5	设计题目	324

第一章 绪 论

§ 1-1 机械设计的一般程序

对机械进行观察可以发现,任何一台完整的机械都是由原动部分、传动部分和执行部分所组成的。尽管机械的类型、用途、性能和构造特点各有不同,但其设计过程大致可归纳成如下顺序:

一、确定设计任务

确定设计任务时应进行周详的调查研究,调研的内容包括:1)关于该设计项目的基础理论研究及应用成果;2)有关的技术情报资料及专利情况;3)用户的意见及要求;4)市场的供销情况、竞争状态及发展动向;5)制造方面的技术力量、设备条件及生产经验;6)环保方面的要求等。在上述调查研究的基础上,编制出详细的设计或技术任务书。

二、编制设计或技术任务书

设计或技术任务书的编制内容包含:1)阐明设计任务的要求;2)制定要求明细表,明确规定机械的用途(使用方面的最低要求和期望要求)、机械的功能(主要技术性能参数的范围)、机械的工况条件及有关特殊要求;3)生产批量;4)规定采用标准零、部件的百分数;5)对机械进行功能分析,提出可供选择的各种设计方案;6)对所提出的各种方案及其工作原理进行论证,作价值分析后确定出最佳方案;7)根据终定方案绘出机械的总布置图和外型图(这时,为了利于整机的设计、制造、装配、维修和运输,应将整机分成若干个有机联系但又相对独立的部件);8)尽可能准确估算出预期的总成本范围;9)规定设计任务的完成日期。

三、技术设计

机械的总布置图和外型图称为机械的总体方案设计简图,它犹似机械的“骨架”,必须使其具体化或结构化,即由简图演变成具体的结构装配图,这个演变由技术设计来完成。

在技术设计阶段中,所做的工作包括:进行机械的运动学和动力学计算;确定所采用的原动机的类型、功率和转速;确定机械的传动装置(传动部分)的总传动比及各级传动传动比的分配;计算传动和执行部分中受载零件所承受(或传递)的载荷(大小、方向和性质);确定各受载零件中应力的方向、大小、方向和类型;判定机械及主要零件的失效形式;选定机械中所有零件的材料包括毛坯获得方式和热处理方法等;通过工作能力计算或经验关系求得零件的主要几何尺寸和参数;确定除标准件之外的所有零件的大致结构形状;绘出整机的各个部件的装配草图;进行技术-经济分析和评价;最终正式绘出各个部件的装配图,若有必要,绘出整机的总装配图。

四、零件工作图设计

装配图只是初步确定机械的总体尺寸及各个零、部件之间的尺寸协调关系、相对位置关系、配合要求、安装要求等。至于每个零件本身的全部尺寸、完整的几何构形、结构要素(如倒角、圆角尺寸)、加工要求(如尺寸公差、形位公差、表面粗糙度)和技术要求等,则在装配图中不可能(也没有必要)反映出来。但是为了制成整机,需把除标准件之外的所有零件制造出来。为此,技术设计后需根据装配图来设计出零件的工作图。设计零件(工作或施工)图时,应从机械的总体要求出发,综合考虑零件的强度、刚度、寿命、工艺性以及重量、体积、成本的限制等,具体确定零件的材料、尺寸、结构要素、制造精度等,规定恰当的技术条件(如热处理方法、表面硬度、表面镀层、发蓝、发黑等),并绘制出零件工作图。总之,零件工作图要求具有必要的视图(包括剖面图或局部剖面图、局部放大图等)、全部尺寸(包括倒角、圆角等所有细节尺寸)、尺寸公差、形位公差、加工符号、材料、数量、重量以及所有无法用图形或符号表示而采用文字说明的技术要求或技术条件。

一般说来,设计工作的各个局部总是和整体密切相联系的。所以上述编制技术任务书中的方案设计,与随后进行的技术设计和零件工作图设计之间必然相互关联、相互影响。因此,它们往往需要相互配合、相互交叉地进行,甚至出现多次的反复。

通过上述设计过程,应提出一套完整的图纸,包括:外型图;总布置图;总装配图;部件装配图;零件工作图;传动系统、润滑系统、冷却系统、电气系统等各类系统图。此外,还要提出一份计算说明书、一份使用说明书,以及有关标准件、通用件、规格件和图纸编号等各种明细表。

五、样机试验

这个阶段的工作是试制样机和进行样机试验。试验的目的是验证设计的合理性和正确性。对设计的不合理和不正确之处,予以改进,从而获得一个经实践检验的最满意的方案。然后再全面计算其经济效果,申报有关部门批准制造。

上述设计过程的内容反映在图纸上,即传统所谓的“三段设计”,也就是方案设计(总体设计)阶段、技术设计(结构设计)阶段和零件(工作或施工)图设计阶段。

§ 1-2 机械设计课程设计的目的

“机械设计”是一门培养学生获得机械设计能力的技术基础课程。在高等工业学校机械类和近机类各专业的教学计划中,它是一门重要的课程。在“机械设计”课程中,有两个极其重要的教学环节,一个是理论教学,另一个就是课程设计。在经过理论教学后所进行的课程设计这一极其重要的设计实践教学环节中,应使学生达到如下的几个目的:

1) 把从“机械设计”以及其他先修课程(画法几何及机械制图、金属工艺学、公差配合及技术测量、工厂实习、理论力学、材料力学、机械原理等)中所学到的理论和生产实践知识,在课程设计实践中全面综合地加以运用,使这些知识得到巩固、提高,并使理论知识与生产实践密切地结合起来。

2) 初步树立起正确的设计思想,掌握一般机械设计的基本方法和技能,培养观察、提问、分析和解决问题的独立设计工作能力,训练设计构思和创新精神。

3) 培养具有查阅参考文献和技术资料以及进行生产现场调研的能力, 能熟悉和较熟练地应用机械设计手册、图册、图表、国家标准 (GB)、部颁标准 (JB等) 和规范, 了解生产和工程实践情况, 为今后成为一名称职的机械设计工程技术人员进行所必须具备的基本技能和基本素质训练。

4) 了解我国当前的有关技术经济方面的法规和政策, 并用以体现到所进行的设计课题中去。

§ 1-3 设计课题的选定、工作量及内容

一、设计课题的选定

为了达到上述目的, 合理选定设计课题是十分重要的。所选择的设计课题主要应该符合下列三方面的要求:

- 1) 能充分反映“机械设计”课程的理论教学内容;
- 2) 能与我国的生产实践情况较密切地结合;
- 3) 设计工作量应适合教学计划中所规定的教学时数。

在我国, 长期来大多是以常规传动减速器为主的机械传动装置作为设计课题。无疑, 就符合上述要求而言, 常规传动减速器诚然是一很好的设计课题, 但并不是唯一的设计课题。事实上, 有较多的设计课题均能满足上述要求。此外, 考虑到“因材施教”原则, 也可选定一些难度较高的设计课题。当然, 选定时需要慎重。这类课题必须在技术上确具先进性, 并在我国的工程实际中确已获得较为广泛的应用。尽管这类设计课题中涉及的知识在理论教学中阐述不多, 致使学生在设计时需花一定时间查阅有关文献资料, 但是只要教师指导得当并发挥学生学习上的主观能动性, 实践证明困难是不难克服的。

总之, 为了适应我国高等工业学校当前教育改革和今后发展的需要, “机械设计”的课程设计教学环节必须进行相应的改革。设计课题应力求多样、灵活, 只要符合教学要求, 还可鼓励学生自行选题。

二、设计课题的工作量及内容

在规定的课程设计教学时间内, 学生必需完成的设计工作量是: 1) 装配图一张; 2) 零件工作图二张; 3) 设计计算说明书一份。它们的具体内容分述于下:

1. 关于装配图

- 1) 图纸大小 装配图原则上绘在 A 0 幅面图纸上, 在特殊情况下绘于 A 1 幅面图纸。
- 2) 视图 除必要视图外, 还应考虑是否需要附加局部剖视图、放大图等。
- 3) 尺寸标注 装配图上应标注的尺寸有:

(1) 外形尺寸——即机械或部件所占的空间位置的尺寸, 如总长、总宽、总高, 供装箱运输和车间布置时参考;

(2) 安装尺寸——机械或部件装在地基或底座上的底面尺寸、地脚螺栓孔的尺寸及位置。此外, 还要注明伸出轴轴线至底面的高度, 以确定它与机组 (或其他部件、电机轴等) 联接时地基 (或底座) 的高度。

(3) 装配尺寸——各配合零件 (如滚动轴承内圈与轴颈、外圈与轴承座孔、传动零件轮

毂孔与轴等)处的配合尺寸,包括配合和精度符号。

(4) 特性尺寸——如传动中心距及其偏差。

4)标题栏、零件的序号、图号和明细表 标题栏置于图纸的右下角,用以说明装配图的名
称、单位名称、设计者等。零件明细表置于标题栏之上,写明零件的序号、图号、名称、材料
等。图1-1示出所推荐的装配图标题栏格式可参考采用①。

8								35								50								7		30		12		12		26				7	
序号		图 号		名 称		数量		材 料		单 重		总 重		附 注		7																					
										重 量						10																					
8		20		14		10		(部 件 或 产 品 名 称)		(图 号)		20		15		13																					
										共 张		重 量		比 例		6																					
										第 张						6																					
标记处数		文 件 号		签 字		日 期		(总 图 或 装 配 件)		(单 位 名 称)						50																					
设 计		(签字)																																			
描 图		5		16		14																															
				日期																																	

输入转速、总传动比、各级传动的传动比等,如表1-1所示。

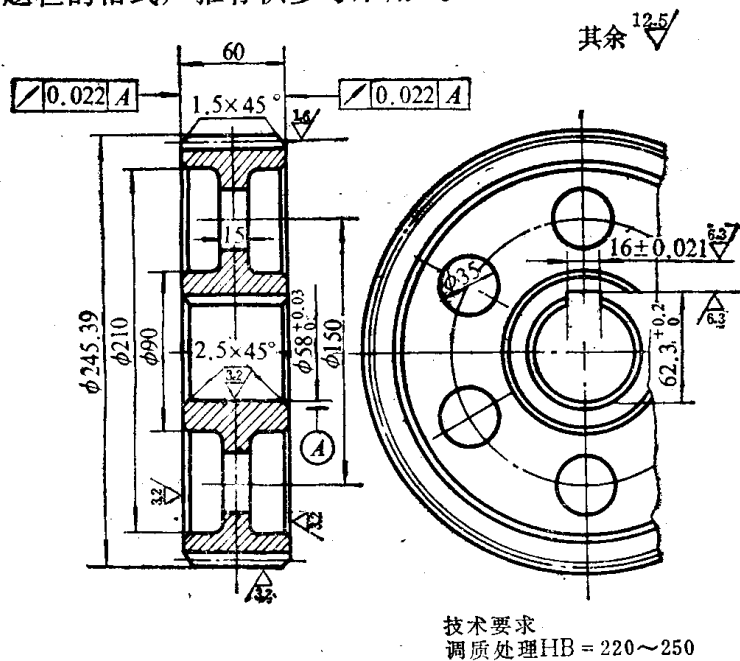
表1-1 技术特性表

[illegible]

6) 技术要求 机械或部件的装配、调整、检验和维护等要求, 无法在装配图上表示。因此需用文字形式写于装配图上适当的空白处, 称为技术要求。不同的机械或部件, 其技术要求并不相同, 应视实际情况而定。

2. 关于零件工作图

零件工作图是制造和检验零件的依据，所以零件工作图上必须包括制造和检验零件所需的全部内容。计有：必要的视图、尺寸、尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、材料、技术要求等。对传动零件，还要用表列出主要几何参数、精度等级、偏差等（见图1-3）。零件工作图的图纸，其大小一般用A3或A4幅面图纸，图纸的右下方设置标题栏。图1-3所示零件工作图标题栏的格式，推荐供参考采用^①。



法面模数	m_n	3
齿形角	α_n	20°
法面的齿顶高系数	h_{an}^*	1
齿数	z	79
分度圆上的螺旋角	β	$8^\circ 06' 34''$
轮齿旋向		右旋
分度圆直径	d	239.39
法面变位系数	x_n	0
精度等级 (JB179-81)		8-HK
公法线长度	W	$87.552^{+0.132}_{-0.220}$
跨测齿数	k	9
配对齿轮图号		
差 验 项 目	齿圈径向跳动公差	F_r 0.063
	公法线长度变动公差	F_w 0.05
	周节极限偏差	f_{pr} ± 0.022
	基节极限偏差	f_{pb} ± 0.021

8 8 20 14 10					(零 件 名 称)	(图 号)			13
						20		15	
						共	张	重 量	
标记处数 文件号 签字 日期					(材 料)	(单 位 名 称)			6
设 计 (签字)									6
描 图									6
16 14					(材 料)	(单 位 名 称)			40
日期									
					60		60		
					180				

图1-3 零件工作图及其标题栏格式

① 为简化排版,本书后面有关各章中零件工作图的标题栏未用所推荐的格式。

3. 关于计算说明书

对计算说明书的要求是:

1) 系统说明设计过程中所考虑的问题及一切计算, 包括与计算有关的必要简图, 如整机或传动方案简图、有关零件的结构简图、轴的受力分析图以及弯矩图和扭矩图等。

2) 计算正确完整、文字简炼通顺、书写整齐清晰。计算部分只需列出公式, 代入数据, 写出结果, 中间演算可以略去。计算结果值列于该页右面一栏内的相应处, 包括“合用”、“安全”等结论。

3) 说明书用16开报告纸, 按合理的顺序及格式书写, 注明页次并编写目录, 最后加封面装订成册。

4) 说明书的总字数为6000~8000字。

说明书的内容包括:

- 1) 目录 (标题及页次);
- 2) 设计课题;
- 3) 设计课题分析 (包括拟定方案简图);
- 4) 确定原动机 (例如确定电动机的类型、功率和转速);
- 5) 机械或部件中各轴的运动学和动力学计算 (各级传动传动比的分配、各轴的转速、功率和扭矩);
- 6) 传动零件的设计;
- 7) 轴的设计 (初步计算和结构设计、绘出弯矩、扭矩图);
- 8) 轴承的选定和计算、轴承组合设计;
- 9) 轴毂联接 (例如键联接) 的选择和计算;
- 10) 联轴装置的选择;
- 11) 轴的精确验算;
- 12) 润滑及密封 (润滑剂的选定、润滑方法, 润滑剂供给方式, 密封装置的选择);
- 13) 箱体零件的设计;
- 14) 辅助零件的选择和说明;
- 15) 其他技术说明;
- 16) 设计小结 (简要说明设计的优缺点、分析与改进等);
- 17) 参考文献资料 (编号写明参考文献资料的名称、作者、出版单位、出版年月)。

主要参考资料

- [1] 许镇宇、邱宣怀主编《机械零件》, 高等教育出版社, 1986
- [2] 沈继飞主编《机械设计》, 上海交通大学出版社, 1988
- [3] 毛振扬、陈秀宁编《机械零件课程设计》, 浙江大学出版社, 1982
- [4] 沈继飞等编《机械零件课程设计》, 上海交通大学, 1962

第二章 机械中的传动装置

§ 2-1 概 述

工作机需由原动机输入动力才能工作。一般来说,原动机与工作机直接相联的情况极为少见,通常是在二者之间设置一中间装置,此中间装置称为传动装置,简称传动。在机械中,传动装置的功用是根据工作机的工作要求实现某种减速、增速、变速或改变运动形式。工程实践表明,传动装置常是机械中的重要组成部分,在整机的成本和重量中占有很大的比重,并在很大程度上决定整机的技术性能和运转费用。因此,正确设计传动装置对保证整机的技术性能和质量指标具有相当重要的意义。

大家知道,原动机有电动机、内燃机、汽轮机、燃气轮机等各种类型。迄今为止,工业中应用最广的原动机是电动机,其中用得最多的是三相异步电动机,原因是其结构简单、价格便宜、维护方便和能直接应用三相交流电源。在我国,已制订统一的Y系列三相异步电动机标准,其功率等级和安装尺寸符合IEC标准,适用于不含易燃、易爆或腐蚀性气体的场所及无特殊要求的机械(如金属切削机床、风机、运输机、搅拌机、农业机械和食品机械等)。Y系列三相异步电动机还具有较好的起动性能,因此也适用于对起动转矩有较高要求的机械如压缩机等。在本书选列的各设计课题中,除个别外,绝大多数都选用Y系列三相异步电动机。

有关Y系列三相异步电动机(或其他类型电动机)的技术数据、安装及外形尺寸可查阅产品目录或设计手册。

§ 2-2 机械传动型式的选择

根据工作原理的不同,传动分两大类:机械传动和电传动。在机械传动中,又分摩擦传动、啮合传动、液压传动和气压传动。根据本课程的教学范围,本书所选列的设计课题中只涉及摩擦传动和啮合传动。

设计传动装置时,首先必需拟定传动方案(或称传动系统、传动简图或运动链),即选定传动型式。所以,必须了解、掌握、分析和比较各种有关传动的性能、特点和适用范围,合理选定传动型式及其组成的传动方案,以满足整机的运动、动力和其他要求。

选择传动型式时,应当考虑的主要指标是:功率;效率;运动性能;外形尺寸;重量;生产率和成本等。现分别简要阐述如下:

1. 功率

每种传动所能传递的功率大小与该传动的工作原理、承载能力、工作速度、效率、材料和制造精度等因素有关。一般来说,啮合传动传递的功率高于摩擦传动,但是啮合传动中的蜗杆传动则因齿面相对滑动速度较大,导致发热量大和效率较低而不宜传递较大的功率;同步齿形带传动则因材料关系亦不能传递大的功率。

2. 效率

效率是评定传动质量指标的一个重要参数。高的效率意味着节约动力和节省运行费用。效

率低的传动一般不用于传递大的功率。通常啮合传动的效率高于摩擦传动，但普通圆柱蜗杆传动的效率可能低于摩擦传动。

3. 速度

速度是传动装置的一个主要运动特性。提高传动的速度是机械的主要发展方向之一。影响速度的因素有动载荷和制造精度等。在常规传动中，除螺旋传动和链传动外，啮合传动的容许速度一般高于摩擦传动。

4. 传动比

传动比是传动装置的又一运动特性。每种传动因受外形尺寸或承载能力等因素的限制，均有各自适用的最大传动比值。此外，还应考虑传动比值的精确性问题。对于要求精确传动比的机械，不能采用摩擦传动而应采用啮合传动。

5. 外廓尺寸、重量及成本

传动装置的外廓尺寸和重量与传动零件材料的机械性能、容许传递速度、容许传递功率等密切相关。在上述条件确定情况下，单级传动的外廓尺寸和重量主要取决于传动型式。一般说来，啮合传动比摩擦传动轻巧，但成本较高。在啮合传动中，蜗杆传动和一些内啮合行星传动的尺寸和重量通常最小。

表2-1列出了一些常用传动装置的性能及其应用场合；表2-2列出了某些传动和轴系零件的效率概值；表2-3列出了在相同功率和传动比条件下，一些典型单级传动在外廓尺寸、重量和成本方面的对比数值。

总之，采用何种传动型式较为相宜，应根据具体情况进行具体分析，不仅考虑技术指标，同时考虑经济成本，对提出的各种方案应在综合比较它们的技术-经济指标后才可作出决策。

§ 2-3 多级传动

由于各种传动的单级传动比均有相应的容许极限值，故对传动比很大或较大的机械，需用二级或二级以上的多级传动。多级传动可全由啮合传动组成（见图2-1所示混砂机），或全由摩擦传动组成，也可用摩擦传动和啮合传动组成（见图2-2所示运输机），还可由常规的普通传动和非常规的行星传动组成（见图2-3所示转炉传动）。

在设计多级传动时，合理安排各级传动的顺序和确定各级传动的传动比是相当重要的两个问题，分别简述于下。

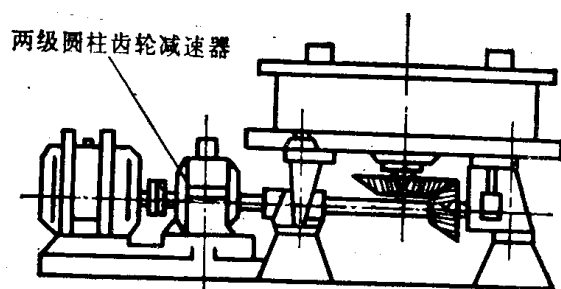


图2-1 混砂机

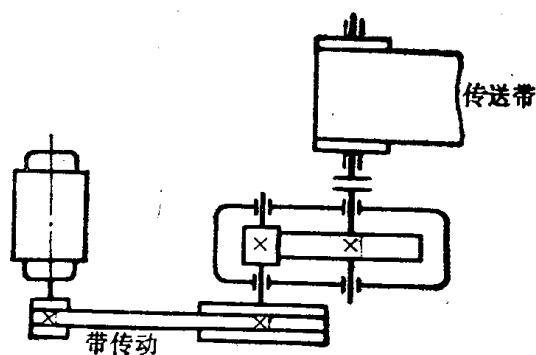


图2-2 运输机

表2-1 一些常用传动的性能和适用范围

传动型式 性能指标	普通平带传动	三角带传动	同步齿形 带传动	链传动	齿轮传动 (闭式)	螺杆传动 (闭式)	圆弧齿 杆传动	NGW型传动	N型传动	谐波传动
传递功率, kW	小 (≤ 20)	中 (≤ 100)	中 (≤ 100)	中 (≤ 100)	大 (可达50000)	一般偏小 (≤ 50)	中 (≤ 160)	大 (可达 50000)	小 (≤ 45)	
单级传动比 常用值 (最大值)	2~4 (6)	2~4 (15)	≤ 10 (20)	2~5 (10)	圆柱 3~5 (10) 圆锥 2~3 (6~10)	7~40 (80)	8~50 (80)	3~9	7~81	
单级传动效率 (平均概值)	中 (~ 0.95)	中 (~ 0.92)	高 (~ 0.98)	中 (~ 0.95)	高 (~ 0.98)	单头 ~ 0.74 双头 ~ 0.8 三头 ~ 0.85	单头 ~ 0.78 双头 ~ 0.85 三头 ~ 0.90		渐开线少齿差 ~ 0.87 摆线针轮 ~ 0.94	
容许线速度, m/s	≤ 25	$\leq 25 \sim 30$	≤ 40	≤ 10	直齿 ≤ 18 6级精度 非直齿 ≤ 36 5级精度 达 100	15~35	15~35	基本同齿 轮传动	基本同齿 轮传动	
外形尺寸 (径向)	大	大	大	大	小	小	小	小	小	小
传动精度	低	低	中等	中等	高	高	高	高	高	高
工作平稳性	好	好	好	较差	一般	较好	较好	一般	较好	好
自锁能力	无	无	无	无	无	可有	可有	无	无	无
过载保护作用	有	有	无	无	无	无	无	无	无	无
工作寿命	短	短	短	中等	长	中等	中等	长	长	中等
缓冲吸振能力	好	好	好	中等	差	差	差	差	中偏差	差
制造和安装精度	低	低	低	中等	高	高	高	高	高	高
润滑要求	无需	无需	无需	中等	高	高	高	高	高	高
环境适应性	不能接触酸、碱油类和爆炸性气体			好	一般	一般	一般	一般	一般	一般

表2-2 某些传动和轴系零件的效率概值

类 别	传 动 型 式	效 率
圆柱齿轮传动	很好跑合的 6、7 级精度 (油润滑)	0.98~0.99
	8 级精度的一般齿轮传动 (油润滑)	0.97
	9 级精度 (油润滑)	0.96
	加工齿的开式传动 (油润滑)	0.94~0.96
	铸造齿的开式传动	0.90~0.93
圆锥齿轮传动	很好跑合的 6、7 级精度 (油润滑)	0.97~0.98
	8 级精度的一般齿轮传动 (油润滑)	0.94~0.97
	加工齿的开式传动 (油润滑)	0.92~0.95
	铸造齿的开式传动	0.88~0.92
蜗 杆 传 动	自锁普通圆柱蜗杆传动 (油润滑)	0.40~0.45
	单头普通圆柱蜗杆传动 (油润滑)	0.70~0.75
	双头普通圆柱蜗杆传动 (油润滑)	0.75~0.82
	三头和四头普通圆柱蜗杆传动 (油润滑)	0.80~0.92
带 传 动	平带开式传动	0.98
	三角带传动	0.96
链 传 动	滚子链传动	0.96
	齿形链传动	0.97
摩 擦 传 动	平摩擦轮传动	0.85~0.92
	卷绳轮传动	0.95
轴承 (一对)	滚动轴承 (球轴承取大值)	0.99~0.995
	滑动轴承 (液体摩擦取大值, 润滑不良取小值)	0.97~0.995
联 轴 器	浮动联轴器 (十字滑块联轴器等)	0.97~0.99
	齿轮联轴器	0.99
	弹性联轴器	0.99~0.995
	万向联轴器	0.95~0.98
减 (变) 速 器	单级圆柱齿轮减速器	0.97~0.98
	两级圆柱齿轮减速器	0.95~0.96
	单级圆锥齿轮减速器	0.95~0.96
	两级圆锥-圆柱齿轮减速器	0.94~0.95
	无级变速器	0.92~0.95

表2-3 功率 $P = 75\text{kW}$ 和传动比 $i = 4$ 时各种传动的尺寸、重量和成本比较

传动型式 (圆周速度, m/s)	平带传动 (23.6)	有张紧轮的 平带传动 (23.6)	三角带传动 (23.6)	链传动 (7)	齿轮传动 (5.85)	蜗杆传动 (5.85)
中心距, mm	5000	2300	1800	830	280	280
轮宽, mm	350	250	130	360	160	60
重量概值, N	5000	5500	5000	5000	6000	4500
相对成本, %	106	125	100	140	165	125

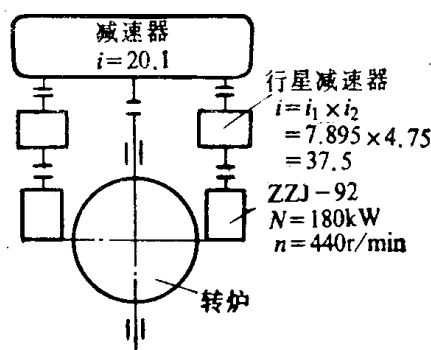


图2-3 转炉传动

一、合理安排各级传动的顺序

安排多级传动的顺序时，应注意下列各点：

1) 摩擦传动（例如带传动）的承载能力一般较低，在传递相同的扭矩时其结构尺寸大于啮合传动，故在多级传动中宜置于高速级，又因其工作平稳性好，故置于高速级还能起吸震缓冲作用。

2) 啮合传动中的蜗杆传动多用于大传动比和中小功率场合，其承载能力一般较齿轮传动为低，为获得较小的结构尺寸，宜置于高速级。这时，虽然齿面相对滑动速度较高，却有利于建立流体润滑油膜，可能为提高承载能力和效率带来好处。

3) 考虑到大尺寸、大模数的圆锥齿轮加工比较困难，故在多级传动中宜置于高速级，但这时圆周速度较大，需提高制造精度，导致成本提高。

4) 斜齿传动的工作平稳性优于直齿传动，相对来说应置于高速级。

5) 链传动具有固有的运转不均匀特性，冲击甚大，故宜置于低速级。

6) 开式齿轮传动的工作环境一般甚差，润滑条件不良，故宜置于低速级。

7) 改变运动形式的传动和机构（如螺旋传动、连杆机构、凸轮机构），应布置在多级传动中的最后一级。

8) 对于 $NGW(2K-H)$ 型和 $N(K-H-V)$ 型内啮合行星传动，因具有承载能力高而结构尺寸小、效率高而传动比大的特性，故在多级传动中可考虑置于低速级。

9) 若机械中有制动装置，则其后不应采用摩擦传动。顺便指出，机械中的制动装置通常置于高速级。

必须强调指出，上述诸点仅为一般建议而不是固定不变的。例如某些高精度的机器，有将带传动置于最后一级的低速级，目的是用其吸震特性改善运转精度；在机床分度传动系统中，最后一级却是蜗杆传动；在焊接用设备中，工作台传动系统的最后一级采用圆锥齿轮传动并非鲜见。总之，应视具体情况具体分析，必需结合整机总体布置、技术性能要求、制造和装配条件、原材料供应情况、工作环境状况、维护和修理等因素，综合分析比较确定。

此外，设计多级传动时，运动链越简短越好。运动链越简短，机构和零件的数量就越少，能量消耗也少，制造、装配、使用、维修和保养费用也低，并利于提高整机的效率和运转精度。

采用属于 $N(K-H-V)$ 型的摆线针轮传动、渐开线少齿差传动和谐波齿轮传动，是简化

和缩短运动链行之有效的措施。这些传动具有承载能力高、传动比大、效率高和结构尺寸紧凑的先进特性，优于蜗杆传动。简化和缩短运动链的另一措施是减少原动机轴与末端输出轴之间的转速差，如采用同步转速低的电动机。虽然会导致电动机的尺寸增大和价格增高，但从整机角度出发全面权衡得失利弊后常常是可行的。

二、合理分配各级传动的传动比

分配各级传动的传动比时，建议注意下列各点：

1) 各级传动的传动比值宜在常用范围值内选取，尽量不取超出常用范围的偏大数值，否则可能导致传动尺寸增大和重量增加。图 2-4 所示总传动比 $i = 8$ 的齿轮传动，采用两级传动时的外廓尺寸和重量要比采用单级传动时减小颇多。同理，当传动比 $i \geq 30$ 时，不宜设计成两级传动而宜设计成三级（或以上）传动。对于摩擦传动，由于外廓尺寸一般较大，若无特殊情况（例如为了协调空间距离），一般不用多级传动。

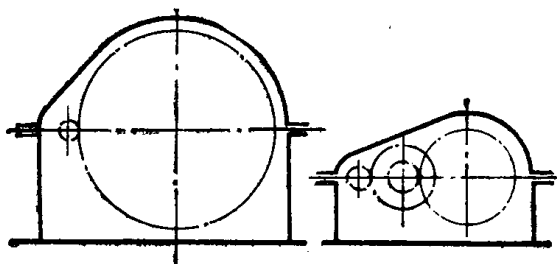


图 2-4 $i = 8$ 的单级和双级齿轮传动

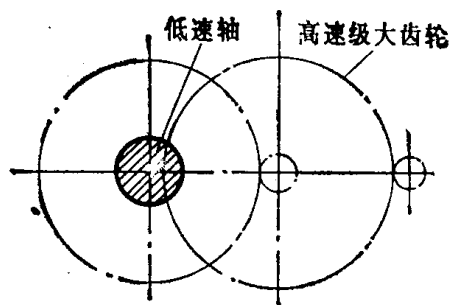


图 2-5 高速级大齿轮与低速轴相碰

2) 传动比的取值大小，会影响传动的外廓尺寸，亦即影响传动零件的径向尺寸。因此确定各级传动的传动比时，应当注意协调各级传动，特别是从动零件尺寸方面的匀称关系，使之便于安装。例如在三角带-圆柱齿轮两级或三级传动中，第一级带传动的传动比不要过大（通常小于或等于 2 并小于齿轮传动的传动比），否则可能会使从动大带轮的半径超过齿轮传动装置输入轴的中心高，造成安装不便或困难。

3) 应使传动零件和轴系零件的尺寸保持匀称协调并不得产生干涉现象。例如上述三角带-圆柱齿轮传动中，若带传动的传动比取得过大，容易造成从动大带轮径向尺寸过大而从动大带轮轴的直径相对过小这一尺寸不协调情况。图 2-5 表示由于高速级传动比定得过大，致使高速级大齿轮与低速轴发生干涉，无法安装。

4) 一般说来，在总传动比 $i = i_1 i_2 i_3 \cdots i_n$ 的多级传动中（这里 $i_1, i_2, i_3 \cdots i_n$ 依次表示各级传动的传动比），宜使相邻两级传动比的差值不要太大。运动链按此进行配置，可能会比其他的传动比方案优越，因其能使输入轴与输出轴之间的各中间轴获得较高的转速和较小的扭矩，从而能使轴和轴上的传动零件及转动零件获得较小的尺寸，藉以得到比较紧凑的结构。

5) 对于设计成独立部件形式的减速器，各级传动比的分配另有推荐的关系式，详见后述。