

行星齿轮传动设计

XINGXING CHILUN CHUANDONG SHEJI

饶振纲 编著

The Second Edition

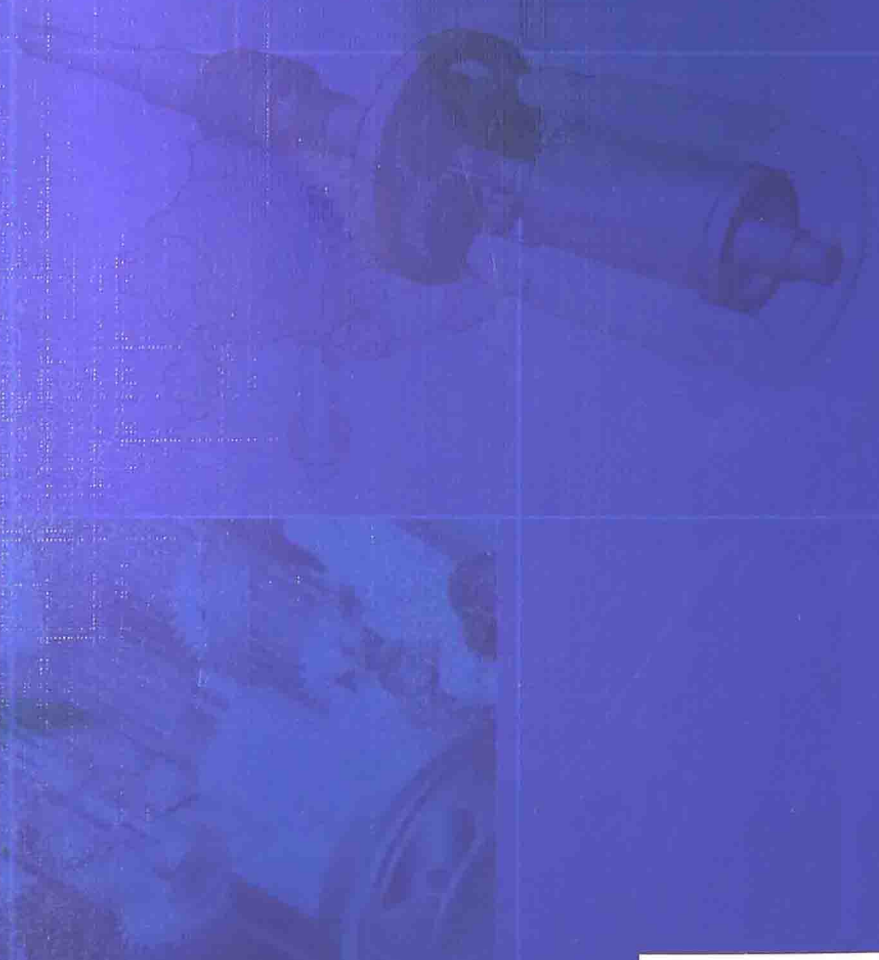
第二版



化学工业出版社

行星齿轮传动设计

XINGXING CHILUN CHUANDONG SHEJI



ISBN 978-7-122-19902-7



9 787122 199027 >

◀ 销售分类建议: 机械/设计

定价: 138.00元

行星齿轮传动设计

饶振纲 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地阐述了行星齿轮传动设计和微型行星齿轮传动设计两方面的内容；其内容丰富完整、简明新颖，图表齐全，实用性较强。并且含有关于行星齿轮传动设计的新方法和新的传动技术。

书中较详细地讨论了行星齿轮传动和微型行星齿轮传动的特点、传动类型、传动比和配齿计算，齿轮传动精度、啮合参数和几何尺寸计算，受力分析和强度计算，传动效率计算，以及均载机构和结构设计等。并且，还撰写了行星齿轮减速器和微型行星齿轮减速器的设计计算步骤和设计计算示例，以及行星齿轮减速器的结构图例。此外，本书还专门编写了封闭行星齿轮传动和行星齿轮变速传动，以及微型行星齿轮传动的模块式组合设计等内容。上述内容均属于我国新近发展的行星传动技术。

本书可供从事机械传动和机械设计的工程师、工程技术人员以及高等院校有关专业的教师、研究生和大学本科参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

行星齿轮传动设计/饶振纲编著. —2 版. —北京:
化学工业出版社, 2014. 5
ISBN 978-7-122-19902-7

I. ①行… II. ①饶… III. ①行星齿轮传动-机械设
计 IV. ①TH132.425

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 036606 号

责任编辑: 张兴辉
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 闫 敏
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: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 31 $\frac{3}{4}$ 字数 792 千字 2014 年 10 月北京第 2 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: 138.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《行星齿轮传动设计》于2003年出版后，至今已十多年了。此书已受到了广大读者的青睐。他们反映：《行星齿轮传动设计》一书，内容完整、图表齐全，实用性较强；确能有助于读者完成行星齿轮传动的设计工作。在此期间，读者经常打电话咨询购书事宜，但由于出版太久，已经很难买到。

近十年来，《行星齿轮传动设计》一书在我国齿轮界已产生了一定的影响，且赢得了机械传动设计者的好评和鼓励。国内有不少的相关公司和企业应用该书已研发出了不少的新产品。随着我国改革开放深入地发展，已不断地引进了许多先进的机械设备和行星齿轮减速器。该书第一版为其在消化和吸收国外的新产品和新技术，以及进行国产化的工作中提供了非常有益的帮助。总之，十多年来，《行星齿轮传动设计》已产生了良好的社会效益和经济效益。为了满足广大读者的需求，不辜负他们的信任和期望，特组织修订第二版。

编写《行星齿轮传动设计》（第二版）的指导思想是：在保持原书优点的基础上，进一步扩充了一些新的内容；增补了新的设计方法和新的行星传动技术。本书第二版共编写了两篇。第1篇为行星齿轮传动设计（保留了原书的基本内容）。由于新的国家标准的颁布，例如，GB/T 10095.1—2008和GB/T 10095.2—2008等，故在第1篇中增补了：第5章圆柱齿轮精度。其内容包括：齿轮偏差的定义及其代号、齿轮精度等级、中心距偏差、侧隙、公法线长度偏差和量柱测量距偏差及图样标注等内容。第2篇为微型行星齿轮传动设计。该篇是新增加的；其内容完整新颖、简明实用。此篇含有关于微型行星齿轮传动设计的新概念、新方法和新的行星传动技术。其中，特别撰写了微型行星齿轮传动的模块式组合设计的内容。另外，本书还详细地编写了微型行星齿轮减速器的设计计算示例和结构图例及零件工作图等。

在编写本书的过程中，参考了《齿轮手册》和《齿轮传动设计手册》等相关资料，在此特向相关作者致以诚挚的谢意。最后，还应对我的家人，在本人编写工作上的支持和生活上的关照表示诚恳的感谢。

鉴于作者的学术水平有限，年事已高，审阅能力也较差。故书中难免有不妥之处，恳切地希望广大读者批评指正。

饶振纲

邮箱：raozhg@126.com

目 录

主要代号	1
------	---

第 1 篇 行星齿轮传动设计

第 1 章 行星齿轮传动概论	6
1.1 行星齿轮传动的定义、符号及其特点	6
1.1.1 行星齿轮传动的定义	6
1.1.2 行星齿轮传动的符号	8
1.1.3 行星齿轮传动的特点	8
1.2 行星齿轮传动的基本类型	10
1.2.1 库德略夫采夫的分类法	10
1.2.2 按齿轮啮合方式进行分类的方法	12
第 2 章 行星齿轮传动的传动比计算	15
2.1 概述	15
2.2 行星齿轮传动各构件角速度间的普遍关系式	16
2.3 行星齿轮传动的传动比计算公式	18
2.3.1 用“转化机构”法计算行星齿轮传动的传动比	18
2.3.2 用速度图解法计算行星齿轮传动的传动比	26
2.4 差动行星齿轮传动的传动比计算公式	29
2.5 圆柱齿轮模数	33
第 3 章 行星齿轮传动的配齿计算	34
3.1 行星齿轮传动中各轮齿数应满足的条件	34
3.1.1 传动比条件	34
3.1.2 邻接条件	34
3.1.3 同心条件	35
3.1.4 安装条件	37
3.2 行星齿轮传动的配齿计算	41
3.2.1 2Z-X(A)型行星传动的配齿公式	41
3.2.2 2Z-X(B)型行星传动的配齿公式	42
3.2.3 2Z-X(D)型行星传动的配齿公式	49
3.2.4 2Z-X(E)型行星传动的配齿公式	49
3.2.5 3Z(I)型行星传动的配齿公式	54
3.2.6 3Z(II)型行星传动的配齿公式	75
第 4 章 行星齿轮传动的几何尺寸和啮合参数计算	81
4.1 标准直齿圆柱齿轮的基本参数	81
4.2 行星齿轮传动中的变位齿轮	85
4.2.1 变位齿轮传动的类型	85
4.2.2 2Z-X 型行星传动的角度变位	87
4.2.3 3Z(I) 型行星传动的角度变位	87
4.3 角度变位齿轮传动的啮合参数计算	88
4.4 变位方式和变位系数的选择	92
4.4.1 变位方式的选用	93
4.4.2 选择变位系数的限制条件	93
4.4.3 选择变位系数的方法	95
4.5 角度变位齿轮传动的几何尺寸计算	97
4.6 公法线长度 W 和量柱测量距 M	113
第 5 章 圆柱齿轮精度	120
5.1 圆柱齿轮精度概述	120
5.2 齿轮偏差的定义及其代号	121
5.3 齿轮精度等级及其选择	124
5.3.1 精度等级	124
5.3.2 精度等级的选择	124
5.4 齿轮检验	125
5.5 齿轮坯	133

5.6	轮齿接触斑点	133
5.7	中心距公差	134
5.8	侧隙	135
5.9	图样标注	140
5.10	采用两项新标准应注意的几个问题	141
5.11	行星传动的齿轮精度选择	142

第6章 行星齿轮传动的效率 143

6.1	行星齿轮传动效率概述	143
6.1.1	行星齿轮传动效率的组成	143
6.1.2	啮合功率法	144
6.1.3	啮合功率流方向的判定	145
6.2	行星齿轮传动的效率计算	146
6.2.1	2Z-X型行星齿轮传动效率计算公式	146
6.2.2	转化机构的功率损失系数 ψ^x 计算	149
6.2.3	3Z型行星齿轮传动效率计算公式	152
6.2.4	行星齿轮传动效率计算示例	160
6.3	差动行星齿轮传动的效率计算	161

第7章 行星齿轮传动的受力分析及强度计算 168

7.1	行星齿轮传动的受力分析	168
7.1.1	普通齿轮传动的受力分析	168
7.1.2	行星齿轮传动的受力分析	169
7.2	行星齿轮传动基本构件上的转矩	173
7.3	行星轮支承上和基本构件轴上的作用力	175
7.3.1	行星轮轴承上的作用力	175
7.3.2	基本构件及其输出轴上的作用力	177
7.4	行星齿轮传动中轮齿的失效形式和常用的齿轮材料	180
7.4.1	轮齿的失效形式	180
7.4.2	常用的齿轮材料	181
7.5	行星齿轮传动的强度计算	184
7.5.1	齿轮传动主要参数的初算	184
7.5.2	齿轮传动强度的校核计算	186

第8章 行星齿轮传动的均载机构 210

8.1	行星轮间载荷分布不均匀性分析	210
8.2	行星轮间载荷分布均匀的措施	212
8.3	行星轮间载荷分布不均匀系数 K_p 的确定	220

8.3.1	2Z-X型行星传动 K_p 值的确定	221
8.3.2	3Z型行星传动 K_p 值的确定	222
8.4	浮动的齿轮联轴器	223
8.4.1	概述	223
8.4.2	浮动齿轮联轴器的几何尺寸计算	225
8.4.3	浮动齿轮联轴器的强度计算	227

第9章 封闭行星齿轮传动设计计算 231

9.1	概述	231
9.1.1	双级行星齿轮传动	231
9.1.2	封闭行星齿轮传动	233
9.2	封闭行星齿轮传动的结构公式和结构简图	237
9.3	封闭行星齿轮传动的传动比计算	238
9.3.1	双级行星齿轮传动的传动比计算公式	238
9.3.2	封闭行星齿轮传动的传动比计算公式	244
9.4	封闭行星齿轮传动的受力分析	253
9.4.1	双级行星齿轮传动的转矩计算公式	253
9.4.2	封闭行星齿轮传动的转矩计算公式	256
9.5	封闭行星齿轮传动的传动效率	261
9.5.1	双级行星齿轮传动的传动效率计算	261
9.5.2	封闭行星齿轮传动的传动效率计算	263
9.5.3	用克莱依涅斯(M. A. Крейнс)公式计算封闭行星传动的效率	273
9.5.4	封闭行星齿轮传动的功率流方向和封闭功率	279
9.5.5	封闭行星齿轮传动的计算示例	283

第10章 行星齿轮传动的结构设计 286

10.1	中心轮的结构及其支承结构	286
10.1.1	中心轮的结构	286
10.1.2	中心轮的支承结构	288
10.2	行星轮结构及其支承结构	291
10.2.1	行星轮的结构	291
10.2.2	行星轮的支承结构	292
10.3	转臂的结构及其支承结构	296
10.3.1	转臂的结构	296
10.3.2	转臂的支承结构	298
10.3.3	转臂的制造精度	299
10.4	机体的结构设计	300

第 11 章 行星齿轮传动设计指导	303
11.1 行星齿轮传动的设计计算步骤	303
11.2 行星齿轮传动设计计算示例	305
11.3 行星齿轮传动结构图例	314
第 12 章 行星齿轮变速传动设计	321
12.1 概述	321
12.2 行星齿轮变速传动的自由度和结构简图	324
12.2.1 行星齿轮变速传动的自由度	324
12.2.2 行星齿轮变速传动的结构简图	325
12.3 行星齿轮变速传动的结构组成	326
12.3.1 控制元件数和传动挡数的确定	326
12.3.2 行星排数 k 的确定	328
12.4 行星齿轮变速传动的传动比计算	329
12.4.1 单元行星齿轮传动的传动比计算	329
12.4.2 行星变速传动各挡的传动比计算	330
12.5 行星齿轮变速传动的受力分析	332
12.5.1 行星排各构件上的力和转矩	332

12.5.2 制动转矩的计算	333
12.5.3 摩擦离合器闭锁力矩的计算	333
12.6 行星齿轮变速传动的效率计算	335
12.6.1 行星排的功率方程式	335
12.6.2 行星齿轮变速传动效率的计算	336
12.6.3 计算行星齿轮变速传动效率的步骤	336
12.7 行星齿轮变速传动的计算示例和图例	339
12.7.1 行星齿轮变速传动的计算示例	339
12.7.2 行星齿轮变速传动的结构图例	344
12.8 行星齿轮变速传动的综合方法	345
12.8.1 构件运动方程式的重要特性	346
12.8.2 确定各行星排的 p 值和各构件的布置情况	346
12.8.3 行星齿轮变速传动的运动方程组	348
12.8.4 行星齿轮变速传动的综合角速度图	348
12.8.5 行星齿轮变速传动综合的基本程序	351

第 2 篇 微型行星齿轮传动设计

第 13 章 微型行星齿轮传动概论	358
13.1 微型行星齿轮传动的发展及其特点	358
13.1.1 微型行星齿轮传动的发展概况	358
13.1.2 微型齿轮传动的传动比及其符号	358
13.1.3 微型行星齿轮传动的特点	359
13.2 微型齿轮与普通齿轮的主要差别	360
13.3 微型行星齿轮传动的主要类型	364
13.4 微型齿轮的基准齿形和模数系列	364
13.4.1 微型齿轮的基准齿形	364
13.4.2 微型齿轮的模数系列	365
13.5 微型行星齿轮传动的发展动向	365
第 14 章 微型行星齿轮传动的传动比计算及各轮齿数的确定	369
14.1 微型行星齿轮传动的传动比计算	369

14.1.1 较常见的微型行星齿轮传动类型	369
14.1.2 微型行星齿轮传动的传动比计算公式	369
14.2 微型行星齿轮传动各轮齿数的确定	371
14.2.1 2Z-X(A)型微型行星齿轮传动各轮齿数的确定	371
14.2.2 3Z(II)型微型行星齿轮传动各轮齿数的确定	373
14.3 微型行星齿轮传动的各轮齿数应满足的条件	374

第 15 章 微型行星齿轮传动的啮合参数和几何尺寸计算	379
15.1 微型行星齿轮传动中的变位传动	379
15.1.1 变位齿轮传动的类型	379
15.1.2 2Z-X(A)型微型行星齿轮传动的角度变位	380

15.1.3	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动的 角度变位	380
15.2	微型行星齿轮传动的啮合参数 计算	381
15.3	微型行星齿轮传动的几何尺寸 计算	386
15.3.1	标准微型行星齿轮传动的几何尺 寸计算	386
15.3.2	高度变位微型行星齿轮传动的 几何尺寸计算	399
15.3.3	外啮合角度变位微型行星齿轮 传动的几何尺寸计算	400
15.3.4	内啮合角度变位微型行星齿轮传 动的几何尺寸计算	400
第 16 章 微型行星齿轮传动的精度		405
16.1	微型行星齿轮传动的技术要求	405
16.2	微型行星齿轮传动的精度等级	406
16.3	微型行星齿轮传动较常用的误差及其 代号	406
16.4	微型行星齿轮传动图样标注方式	407
16.5	微型行星齿轮传动的公差与检验 项目	408
第 17 章 微型行星齿轮传动的组合 设计		418
17.1	微型行星齿轮传动的组合	418
17.1.1	微型行星齿轮传动的组合 方式	418
17.1.2	几种不同齿轮传动类型的 串联	418
17.2	二级 2Z-X(A)型微型行星齿轮传动的 串联	420
17.3	微型行星齿轮传动的模块式组合 设计	421
17.3.1	模块式组合的形式	421
17.3.2	基本模块的设计计算	423
17.3.3	模块式组合设计	424
17.3.4	模块式组合设计计算的步骤	426
17.4	微型行星齿轮传动模块式组合设计 计算示例	426
17.5	微型封闭行星齿轮传动的设计 计算	437
第 18 章 微型行星齿轮传动的受力分析 及强度计算		441
18.1	微型行星齿轮传动的受力分析	441
18.1.1	直齿圆柱齿轮的受力分析	441

18.1.2	2Z-X(A)型微型行星齿轮传动的 受力分析	442
18.1.3	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动的 受力分析	443
18.2	微型行星齿轮传动的失效形式和常 用的齿轮材料	444
18.2.1	齿轮的失效形式	444
18.2.2	常用的齿轮材料	445
18.3	微型行星齿轮传动的强度计算	448
18.3.1	微型行星齿轮传动的主要参数 计算	448
18.3.2	齿轮传动强度的校核计算	450

第 19 章 微型行星齿轮传动的效率 计算

19.1	2Z-X(A)型微型行星齿轮传动的效率 计算	464
19.2	转化机构的功率损失系数 ψ^* 计算	465
19.3	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动的效率 计算	465
19.3.1	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动效率 计算公式	465
19.3.2	微型行星齿轮传动效率计算 示例	466

第 20 章 微型行星齿轮传动设计计算 示例

20.1	微型行星齿轮传动的设计计算 步骤	468
20.2	2Z-X(A)型多极串联的微型行星齿轮 传动设计计算示例	469
20.3	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动的设计 计算示例	478

第 21 章 微型行星齿轮传动的结构及 零件工作图

21.1	微型行星齿轮传动的结构	485
21.1.1	2Z-X(A)型微型行星齿轮传动的 串联结构	485
21.1.2	3Z(Ⅱ)型微型行星齿轮传动的 结构	488
21.2	微型行星齿轮传动图例	490
21.2.1	微型行星齿轮减速器图例	490
21.2.2	微型行星齿轮传动零件工 作图	493

参考文献

后记

主要代号

a 中心距 mm	$f_{H\beta}$ 螺旋线倾斜偏差 μm
a' 齿轮副的啮合中心距 mm	f_{pt} 单个齿距偏差 μm
a_o 切齿中心距 mm	f_i' 一齿切向综合偏差 μm
b 齿宽 mm	f_i'' 一齿径向综合偏差 μm
c 顶隙 mm	f_m 啮合摩擦系数
c^* 顶隙系数	G 剪切弹性模量 N/mm^2
d 分度圆直径 mm	H 高度 mm
d_1 、 d_2 齿轮副中的小轮、大轮分度圆直径 mm	HB 布氏硬度
d_o 插齿刀分度圆直径 mm	HRC 洛氏硬度
d_a 齿顶圆直径 mm	HV 维氏硬度
d_b 基圆直径 mm	h 齿高 mm
d_f 齿根圆直径 mm	h' 工作齿高 mm
d_p 量柱(测量棒)直径 mm	h_a 齿顶高 mm
d' 节圆直径 mm	h_a^* 齿顶高系数
E 弹性模量 N/mm^2	h_{ao} 刀具齿顶高 mm
e 齿槽宽 mm	h_{ao}^* 刀具齿顶高系数
E_{ws} 公法线长度上偏差 μm	h_f 齿根高 mm
E_{wi} 公法线长度下偏差 μm	h_{fo} 刀具齿根高 mm
E_{ss} 齿厚上偏差 μm	i 传动比
E_{si} 齿厚下偏差 μm	$\text{inv}\alpha$ α 角的渐开线函数
E_{Ms} 量柱测量距上偏差 μm	j 侧隙 mm
E_{Mi} 量柱测量距下偏差 μm	j_n 法向侧隙 mm
F 作用力、切向力 N	j_t 圆周侧隙 mm
F_a 轴向力 N	K 系数、载荷系数
F_n 法向力 N	K_A 使用系数
F_p 齿距累积总偏差 μm	K_d 计算分度圆直径的算式系数
F_r 径向力 N	K_m 计算齿轮模数的算式系数
F_r 径向跳动 μm	$K_{F\alpha}$ 计算弯曲强度的齿间载荷分配系数
F_{pk} 齿距累积偏差 μm	$K_{F\beta}$ 计算弯曲强度的齿向载荷分布系数
F_i' 切向综合总偏差 μm	$K_{H\alpha}$ 计算接触强度的齿间载荷分配系数
F_i'' 径向综合总偏差 μm	$K_{H\beta}$ 计算接触强度的齿向载荷分布系数
F_o 齿廓总偏差 μm	K_p 行星轮间载荷分布不均匀系数
F_β 螺旋线总偏差 μm	K_v 动载系数
f_a 中心距偏差 μm	k 跨测齿数、跨测槽数(用于内齿轮)
f_{fa} 齿廓形状偏差 μm	L 长度、轴承距离 mm
$f_{f\beta}$ 螺旋线形状偏差 μm	M 量柱测量距 mm
$f_{H\alpha}$ 齿廓倾斜偏差 μm	m 模数 mm
	m_n 法向模数 mm

m_t 端面模数 mm	Z_E 弹性系数
N 指数	Z_H 节点区域系数
N_L 应力循环次数	Z_L 润滑剂系数
n 转速 r/min	Z_N 计算接触强度的寿命系数
n_p 行星轮数目	Z_R 接触强度的粗糙度系数
P 传递功率 kW	Z_v 速度系数
P_A 输入功率 kW	Z_W 齿面工作硬化系数
P_B 输出功率 kW	Z_X 计算接触强度的尺寸系数
P_T 摩擦损失功率 kW	Z_β 计算接触强度的螺旋角系数
p 齿距、分度圆齿距 mm	Z_ϵ 计算接触强度的重合度系数
p 行星排的特性参数	z 齿数
Ra 算术平均粗糙度 μm	z_1, z_2 齿轮副中的小轮、大轮齿数
Rz 平均峰谷粗糙度 μm	z_o 刀具齿数
r 半径、分度圆半径 mm	z_v 当量齿数
S 安全系数	z_Σ 齿数和
S_F 计算弯曲强度的安全系数	α 压力角、齿形角 ($^\circ$) 或 rad
S_H 计算接触强度的安全系数	α_a 齿顶压力角 ($^\circ$) 或 rad
s 齿厚、分度圆齿厚 mm	α' 齿轮副的啮合角 ($^\circ$) 或 rad
s_a 齿顶厚 mm	α_o 刀具齿形角 ($^\circ$) 或 rad
s_n 法向齿厚 mm	α_o' 切齿时的啮合角 ($^\circ$) 或 rad
s_t 端面齿厚 mm	α_n 法向分度圆压力角 ($^\circ$) 或 rad
s_o 刀具齿厚 mm	α_t 端面分度圆压力角 ($^\circ$) 或 rad
T 转矩 N·m	β 螺旋角、分度圆螺旋角 ($^\circ$) 或 rad
T_A 输入转矩 N·m	ϵ 重合度
T_B 输出转矩 N·m	ϵ_a 端面重合度
t 时间 h 或 s	ϵ_β 轴向重合度 (纵向重合度)
u 齿数比	ϵ_γ 总重合度
v 线速度、圆周速度 m/s	η 效率
W 公法线长度 mm	η^* 转化机构的效率
W 自由度	η_p 行星齿轮传动效率
x 径向变位系数	μ 摩擦系数
x_Σ 变位系数和	ν 泊松比
Y 系数	ν_t 润滑油在工作温度 t 下的运动黏度 mm^2/s
Y_{Fa} 齿形系数	ρ 曲率半径 mm
Y_N 计算弯曲强度的寿命系数	ρ_f 齿根圆角半径 mm
Y_{RT} 相对齿根表面状况系数	ρ_f^* 齿根圆角半径系数
Y_S 应力修正系数	σ 正应力 N/mm^2
Y_X 计算弯曲强度的尺寸系数	σ_b 抗拉强度 N/mm^2
Y_β 计算弯曲强度的螺旋角系数	σ_s 屈服强度 N/mm^2
$Y_{\delta T}$ 相对齿根圆角敏感系数	σ_F 计算齿根弯曲应力 N/mm^2
Y_ϵ 计算弯曲强度的重合度系数	σ_{FP} 许用齿根弯曲应力 N/mm^2
y 中心距变动系数	σ_{Flim} 试验齿轮弯曲疲劳极限 N/mm^2
Δy 齿顶高变动系数	

σ_H 计算接触应力 N/mm^2
 σ_{HP} 许用接触应力 N/mm^2
 σ_{Hlim} 试验齿轮的接触疲劳极限 N/mm^2
 ϕ_a 对中心距 a 的齿宽系数, $\phi_a = b/a$
 ϕ_d 对分度圆直径的齿宽系数, $\phi_d = b/d$
 ψ 功率损失系数
 ψ^x 转化机构的功率损失系数

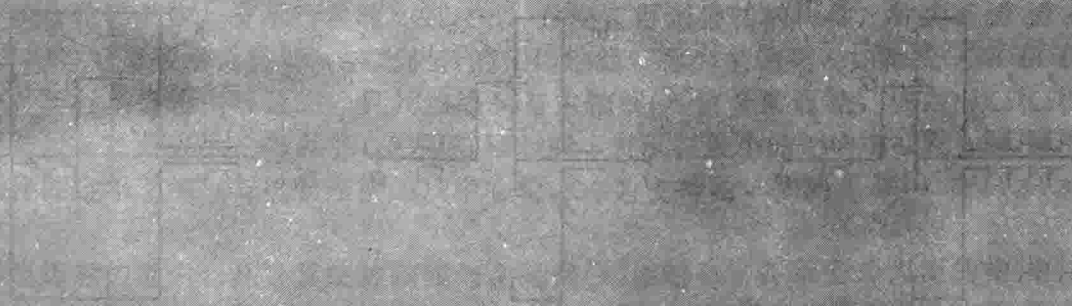
主要下角标

A 输入构件
 a 齿顶的, 中心轮的
 B 输出构件
 b 基圆的、中心轮、内齿轮
 c 行星轮
 d 行星轮
 E 固定构件
 e 中心轮、内齿轮
 F 齿根弯曲的

f 齿根的
 H 接触的
 lim 试验齿轮的疲劳极限
 max 最大的
 min 最小的
 n 法向的
 P 许用的
 r 径向的
 t 切向的
 x 转臂的、行星架的
 Σ 代数和
 o 刀具的
 1 小齿轮的
 2 大齿轮的
 I 高速的, 第 I 级的
 II 低速的, 第 II 级的
 III 第 III 级的

第 1 篇

行星齿轮传动设计



第 1 章 行星齿轮传动概论

1.1 行星齿轮传动的定义、符号及其特点

齿轮传动在各种机器和机械设备中已获得了较广泛的应用。例如，起重机械、工程机械、冶金机械、建筑机械、石油机械、纺织机械、机床、汽车、飞机、火炮、船舶和仪器、仪表中均采用了齿轮传动。在上述各种机器设备和机械传动装置中，为了减速、增速和变速等特殊用途，经常采用一系列互相啮合的齿轮所组成的传动系统，在《机械原理》中，便将上述的齿轮传动系统称之为轮系。

1.1.1 行星齿轮传动的定义

轮系可由各种类型的齿轮副组成。由锥齿轮、螺旋齿轮和蜗杆蜗轮组成的轮系，称为空间轮系；而由圆柱齿轮组成的轮系，称为平面轮系。本书主要讨论平面轮系的设计问题。

根据齿轮系运转时其各齿轮的几何轴线相对位置是否变动，齿轮传动分为两大类型。

(1) 普通齿轮传动（定轴轮系）

当齿轮系运转时，如果组成该齿轮系的所有齿轮的几何轴线位置都是固定不变的，则称为普通齿轮传动（或称定轴轮系）。在普通齿轮传动中，如果各齿轮副的轴线均互相平行，则称为平行轴齿轮传动；如果齿轮系中含有一个相交轴齿轮副或一个相错轴齿轮副，则称为不平行轴齿轮传动（空间齿轮传动）。

(2) 行星齿轮传动（行星轮系）

当齿轮系运转时，如果组成该齿轮系的齿轮中至少有一个齿轮的几何轴线位置不固定，而绕着其他齿轮的几何轴线旋转，即在该齿轮系中，至少具有一个作行星运动的齿轮，如图 1-1(a) 所示。在上述齿轮传动中，齿轮 a、b 和构件 x 均绕几何轴线 \overline{OO} 转动，而齿轮 c 是活套在构件 x 的轴 O_c 上，它一方面绕自身的几何轴线 O_c 旋转（自转），同时又随着几何轴线 O_c 绕固定的几何轴线 \overline{OO} 旋转（公转），即齿轮 c 作行星运动；因此，称该齿轮传动为行星齿轮传动，即行星轮系。

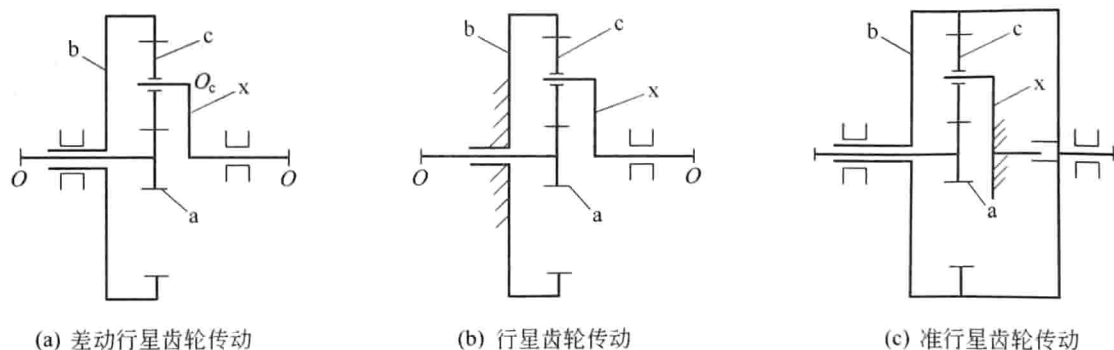


图 1-1 行星齿轮传动

行星齿轮传动按其自由度的数目可分为以下几种。

① 简单行星齿轮传动 具有一个自由度 ($W=1$) 的行星齿轮传动，如图 1-1(b) 所示。对于简单行星齿轮传动，只需要知道其中一个构件的运动后，其余各构件的运动便可以

确定。

② 差动行星齿轮传动 具有两个自由度 ($W=2$) 的行星齿轮传动, 即它是具有三个可动外接构件 (a、b 和 x) 的行星轮系 [见图 1-1(a)]。对于差动行星齿轮传动, 必须给定两个构件的运动后, 其余构件的运动才能确定。

在行星齿轮传动中作行星运动的齿轮 c, 称为行星齿轮 (简称为行星轮)。换言之, 在齿轮系中, 凡具有自转和公转的齿轮, 则称为行星轮, 如图 1-1 中所示的齿轮 c。仅有一个齿圈的行星 c, 称为单齿圈行星轮 [见图 1-1 和图 1-2(a)]; 带有两个齿圈的行星轮 c-d, 称为双齿圈行星轮 [见图 1-2(b) 和图 1-3]。

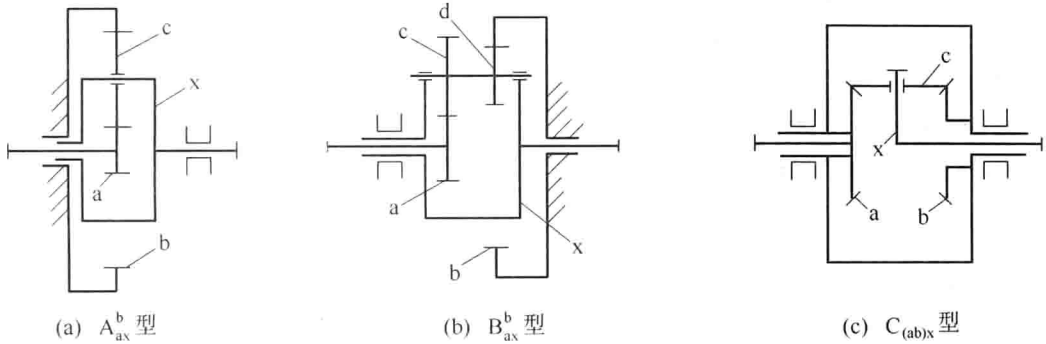


图 1-2 2Z-X 型的负号机构 ($i^x < 0$)

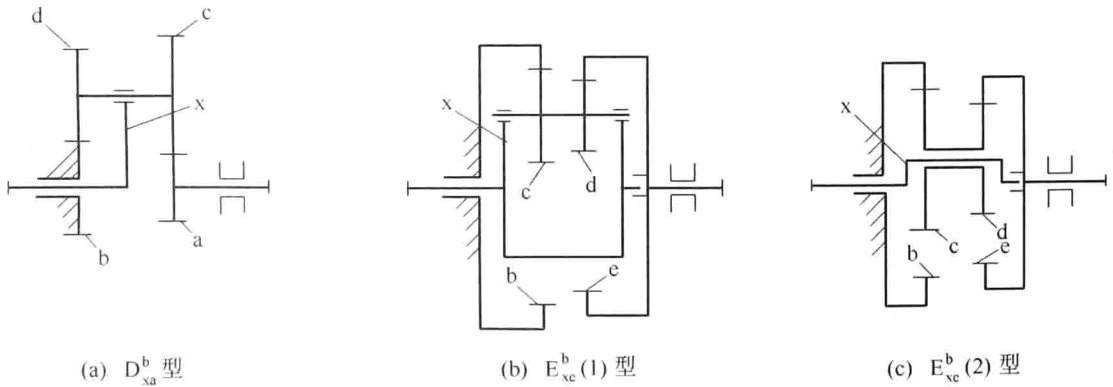


图 1-3 2Z-X 型的正号机构 ($i^x > 0$)

在行星齿轮传动中, 支承行星轮 c(或 c-d) 并使它得到公转的构件, 称为转臂 (又称为行星架), 用符号 x 表示。转臂 x 绕之旋转的几何轴线, 称为主轴线, 如轴线 \overline{OO} 。在行星齿轮传动中, 与行星齿轮相啮合的, 且其轴线又与主轴线 \overline{OO} 重合的齿轮, 称为中心轮; 外齿中心轮用符号 a 或 b 表示, 内齿中心轮用符号 b 或 e 表示。最小的外齿中心轮 a 又可称为太阳轮。而将固定不动的 (与机架连接的) 中心轮, 称为支持轮, 如图 1-1(b) 中所示的内齿轮 b。

在行星齿轮传动中, 凡是其旋转轴线与主轴线 \overline{OO} 相重合, 并承受外力矩的构件, 称为基本构件, 如图 1-1 中的中心轮 a、b 和转臂 x。换言之, 所谓基本构件就是在空间具有固定旋转轴线的受力构件; 其中也可能是固定构件, 如图 1-1(b) 中与机架相连接的内齿轮 b。而差动行星齿轮传动 [见图 1-1(a)] 就是具有三个运动基本构件的行星齿轮传动。在其三个基本构件中, 若将内齿轮 b 固定不动, 则可得到应用十分广泛的, 输入件为中心轮 a 或转臂 x, 输出件为转臂 x 或中心轮 a 的行星齿轮传动 [见图 1-1(b)]。仿上, 当中心轮 a 固定不动时, 则可得到输入件为内齿轮 b 或转臂 x, 输出件为转臂 x 或内齿轮 b 的行星齿轮传动。当转臂 x 固定不动时, 则可得到所有齿轮轴线均固定不动的普通齿轮传动, 即定轴齿轮传动。

由于该定轴齿轮传动是原来行星齿轮传动的转化机构, 故又称之为准行星齿轮传动, 如图 1-1(c) 所示。

为了便于对上述行星齿轮传动进行研究分析, 本书特将差动行星齿轮传动 ($W=2$)、行星齿轮传动 ($W=1$) 和准行星齿轮传动, 统称为行星齿轮传动。

1.1.2 行星齿轮传动的符号

在行星齿轮传动中较常用的符号如下。

n —— 转速, 以每分钟的转数来衡量的角速度, r/min 。

ω —— 角速度, 以每秒弧度来衡量的角速度, rad/s 。

n_a —— 齿轮 a 的转速, r/min 。

n_b —— 内齿轮 b 的转速, r/min 。

n_x —— 转臂 x 的转速, r/min 。

n_c —— 行星轮 c 的转速, r/min 。

i_{ab} —— a 轮输入, b 轮输出的传动比, 即

$$i_{ab} = \frac{n_a}{n_b} = \frac{\omega_a}{\omega_b} = \pm \frac{z_b}{z_a}$$

式中, 外啮合传动取“-”号; 内啮合传动取“+”号。

i_{ba} —— b 轮输入, a 轮输出的传动比, 即

$$i_{ba} = \frac{n_b}{n_a} = \frac{\omega_b}{\omega_a} = \pm \frac{z_a}{z_b}$$

且有如下关系式, 即

$$i_{ab} i_{ba} = 1 \quad \text{或} \quad i_{ab} = \frac{1}{i_{ba}}$$

i_{AB}^C —— 在行星齿轮传动中, 构件 A 相对于构件 C 的相对转速与构件 B 相对构件 C 的相对转速之比值, 即

$$i_{AB}^C = \frac{n_A - n_C}{n_B - n_C}$$

i_{ab}^x —— 在行星齿轮传动中, 中心轮 a 相对于转臂 x 的相对转速与内齿轮 b 相对于转臂 x 的相对转速之比值, 即

$$i_{ab}^x = \frac{n_a - n_x}{n_b - n_x}$$

i_{ax}^b —— 在图 1-1(b) 所示的行星齿轮传动中, 内齿轮 b 固定, 即 $n_b = 0$, 中心轮 a 输入, 转臂 x 输出时的行星齿轮传动的传动比。

p —— 内齿轮 b 与中心轮 a 的齿数比, 即 $p = \frac{z_b}{z_a}$; 也称之为行星排的特性参数。

1.1.3 行星齿轮传动的特点

行星齿轮传动与普通齿轮传动相比较, 它具有许多独特的优点。它的最显著的特点是: 在传递动力时它可以进行功率分流; 同时, 其输入轴与输出轴具有同轴性, 即输出轴与输入轴均设置在同一主轴线上。所以, 行星齿轮传动现已被人们用来代替普通齿轮传动, 而作为各种机械传动系统中的减速器、增速器和变速装置。尤其是对于那些要求体积小、质量小、结构紧凑和传动效率高的航空发动机、起重运输、石油化工和兵器等的齿轮传动装置以及需要差速器的汽车和坦克等车辆的齿轮传动装置, 行星齿轮传动已得到了越来越广泛的应用。

行星齿轮传动的主要特点如下。

① 体积小, 质量小, 结构紧凑, 承载能力大 由于行星齿轮传动具有功率分流和各中心轮构成共轴线式的传动以及合理地应用内啮合齿轮副, 因此可使其结构非常紧凑。再由于