

行星差动传动装置

PLANETARY DIFFERENTIAL DRIVE DEVICE

张展 张弘松 张晓维 编著

行星差动传动装置

PLANETARY DIFFERENTIAL DRIVE DEVICE

张 展 张弘松 张晓维 编著



机械工业出版社

行星差动传动是 2K-H 型行星齿轮传动的一种特殊应用形式, 在很多行业中广泛应用。本书系统地介绍了行星差动传动的特点、应用与设计。全书共 11 章, 主要内容包括行星齿轮传动的类型、特点及设计计算, 通用减速器与行星齿轮减速器设计, 行星差动传动的承载能力计算、主要构件的结构与计算、应用与设计、传动装置的润滑与密封, 以及行星差动制造技术。

本书注重理论知识的应用性、专业技术的针对性和实用性, 体现了先进性。

本书可供从事齿轮机构设计与应用的技术人员使用, 也可作为大专院校相关专业的教材及参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

行星差动传动装置/张展, 张弘松, 张晓维编著. —北京:
机械工业出版社, 2008. 12
ISBN 978 - 7 - 111 - 25152 - 1

I. 行… II. ①张…②张…③张… III. 行星齿轮传动 -
齿轮传动装置 IV. TH132. 425

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 145338 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: 黄丽梅 周璐婷
版式设计: 霍永明 责任校对: 吴美英 魏俊云
封面设计: 陈 沛 责任印制: 邓 博
北京京丰印刷厂印刷
2009 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm × 260mm · 45. 25 印张 · 5 插页 · 1123 千字
0 001 — 4 000 册
标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 25152 - 1
定价: 80.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294
购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话: (010) 68321729
封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社机械行业标准出版信息

我社出版自 2002 年开始发布的现行机械行业标准 (JB), 其中包括机械、电工、仪表三大行业, 涉及设备、产品、工艺等几大类。为保证用户查询、购买方便, 特提供以下信息:

查询标准出版信息、网上订购

<http://www.cmpbook.com/standardbook/bzl.asp>

<http://www.golden-book.com>——机械工业出版社旗下大型科技图书网站

标准出版咨询

机械工业出版社机械分社电话: 010-88379778
010-88379779

电话订购

电话: 010-68993821 010-88379639
010-88379641 010-88379643
010-88379693 010-88379170

传真: 010-68990188 (可写明购书信息及联系方式)

地址: 北京市西城区百万庄大街 22 号

邮政编码: 100037

户名: 北京百万庄图书大厦有限公司

账号: 8085 1609 1908 0910 01

开户行: 中国银行北京百万庄支行

金属加工

原名《机械工人》

半月刊 创刊于 1950 年

- 两刊双双进入中国期刊方阵
冷加工评为“双百”期刊
热加工评为“双效”期刊
- 全国优秀科技期刊二等奖
- 北京市全优期刊
- 历次机械行业优秀期刊奖
- 2007 年荣获机械行业优秀期刊一等奖

◆ 内容特点

“以实用性为主、来源于实践、服务于生产”，“追踪行业热点，把握市场需求”。多年来，《金属加工》时刻关注国内外制造技术、产品及市场的发展方向，为制造业提供了大量参考价值极强的实用性文章及信息。

◆ 读者对象

主要为制造业领域的管理人员、技术人员及大中专院校师生等。主要分布在工艺、开发设计、技改、设备管理与维修、工具、质检等部门以及生产车间、班组等。《金属加工》的读者 63% 以上是中、高级技术人员和管理人员，58% 以上是在设备采购中承担着决策、选型评估、建议等不同角色。

◆ 服务领域

《金属加工》(冷加工):

- ◆ 机床及附件
- ◆ 刀具、夹具、量具、量仪、磨料磨具及各类工具
- ◆ 数控系统及配套部件
- ◆ 制造业软件
- ◆ 模具及材料
- ◆ 仪器仪表
- ◆ 传动装置
- ◆ 机械零部件
- ◆ 工控系统及元器件
- ◆ 电气设备

大 16 开 半月刊 10 元/期 全年定价: 240 元 邮发代号: 2-126

《金属加工》(热加工):

- ◆ 焊接与切割
- ◆ 热处理
- ◆ 电炉、工业炉
- ◆ 铸造
- ◆ 压力加工
- ◆ 表面工程
- ◆ 热加工自动控制
- ◆ 热加工仪器与仪表

大 16 开 半月刊 10 元/期 全年定价: 240 元 邮发代号: 2-127

《金属加工》杂志社

地址: 北京百万庄大街 22 号 邮编: 100037

传真: 010-68327225 68326910

电话: 010-68327547 68335775 88379790~98

<http://www.machinist.com.cn>

E-mail: LB1950@126.com (冷加工编辑部)

RB1950@126.com (热加工编辑部)

LG1950@126.com (冷加工广告部)

RG1950@126.com (热加工广告部)

征集专业读者 免费索取样刊 (复印有效)

完整填写此表, 可获精美纪念品一份

请选择: ☐ 冷加工 ☐ 热加工

公司名称: _____ 姓名: _____ 职务: _____ 部门: _____

通信地址: _____ 邮编: _____ E-mail: _____

电话: _____ 传真: _____ 所属行业: _____

主导产品: _____ 公司经常采购的主要产品: _____

总工: _____ 技术部负责人: _____ 销售部负责人: _____ 采购部负责人: _____

2008-JXS

请传真至 010-68327225 68326910 《金属加工》杂志社

前 言

行星差动传动具有两个自由度，太阳轮、内齿圈和行星架都承受外转矩而运动。行星差动传动是行星齿轮传动的一种特殊应用形式。其应用方式，一是用于运动的合成，作为变速器作用；二是用于运动的分解，作为行星差速器使用。

用于行星差动传动的类型，通常有 2K-H (NGW) 型、2K-H (WW) 型、ZUWGW 型传动。这些行星传动与适当的定轴齿轮传动组合，便可组成行星差速装置。

2K-H (NGW) 型行星差动传动结构紧凑、轴向尺寸小、质量轻、效率高、应用广泛，目前在离心机上广泛应用。

2K-H (WW) 型行星差动传动，结构简单，但尺寸和质量较大。由于其传动效率与传动比紧密相关，在设计时应慎重考虑，一般传动比为 2 时较为理想。

采用 ZUWGW 型行星差动传动时，输入轴与输出轴可垂直，适宜用于车辆前后桥的差速器，还常用于小功率的差动调速及机床传动系统中。

行星差动传动已广泛用于起重运输、冶金机械、矿山机械、化工机械、机床和轻工机械等行业中。

近年来，利用行星差动传动技术开发了许多新产品，在许多行业中发挥着重要作用。其典型应用有：利用行星差动传动装置的调速功能，驱动中小型连轧机、风机、泵及磨机等，可对工作机输出转速进行调节，以实现相应的工艺要求；利用行星传动技术开发可控的起动传动装置；利用行星差动传动技术，开发了高速差速器，应用于卧式螺旋卸料离心分离机，其最高转速可达 5000r/min，驱动最大转矩可达数万牛·米。此外，行星差动传动还广泛应用于起重机、卸船机抓斗的驱动装置。

我国早在南北朝时代（公元 429 ~ 500 年），祖冲之就发明了具有锥齿轮的行星差动式指南车，因此我国行星齿轮传动的应用比欧美各国早 1300 多年。

现在，世界齿轮与减速器技术发展，总的趋势是向“六高、两低、两化”方向发展。“六高”是指高承载能力、高齿面硬度、高精度、高速度、高可靠性和高传动效率；“两低”是指低噪声、低成本；“两化”是指标准化、模块化（多样化）。

我国现有齿轮企业 600 多家，其中，国有、集体所有的大中型企业 110 家，集体所有的小型企业 450 家，私有企业 60 多家，“三资”企业约 30 家。2006 年，这些企业的生产总值超过 500 多亿元，为发展我国的机械行业作出了重大贡献。

近年来，我国的齿轮加工设备不断更新，国内拥有 $\phi 6000\text{mm}$ 的磨齿机、 $\phi 16000\text{mm}$ 的 CNC 大型滚齿机，还有大量的加工中心与数控机床，生产能力已达国际先进水平。希望更多的新产品、新成果、新技术走向世界，为人类作出更大贡献。

本书由张展、张弘松、张晓维编著。

本书在编写过程中，得到上海交通大学的高雪官、张国瑞教授，上海大学的邓召义、颜思健教授，上海理工大学的崔建昆、麦云飞、曾忠教授，同济大学的归正教授以及贺永富、张成伟、王新革、龚建民、姚伟民、金华英、王遐其、戴宏长、张建国、田洪、陈智辉、孟繁惠、柳志丰、吴明建、张晓燕、刘文超、许国华、李运秋、汪曾亮、陈炜、屠虎等同志的支持与合作，谨此表示感谢。

书中所列产品中，有不少是编者设计的，列在书中希望能起到抛砖引玉的作用。书中若有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

张 展

目 录

前言

第1章 概论 1

- 1.1 概述 1
- 1.2 行星齿轮传动的类型 3
- 1.3 行星齿轮传动的特点 7
- 1.4 行星差动传动的发展概况 8
- 1.5 行星齿轮传动的发展方向 13

第2章 2K-H (NGW) 型行星齿轮

传动 15

- 2.1 传动比的计算 15
- 2.2 行星齿轮传动齿数的选配 32
- 2.3 行星齿轮传动的变位系数选择及其几何计算 60
- 2.4 均载机构的选择 73
- 2.5 行星齿轮传动的效率与测试 89

第3章 3K (NGWN) 型行星齿轮

传动 102

- 3.1 3K 型行星齿轮传动的传动比计算 102
- 3.2 3K 型行星齿轮传动齿数的选配 104
- 3.3 3K 型行星齿轮传动的强度计算 114
- 3.4 3K 型行星齿轮传动的效率 117

第4章 通用减速器的设计 125

- 4.1 中国齿轮工业的现状及其发展目标 125
- 4.2 通用与专用齿轮减速器 128
- 4.3 减速器的主要类型与应用 129
- 4.4 齿轮减速器的现状及发展趋势 133
- 4.5 减速器的设计程序 134
- 4.6 通用圆柱齿轮减速器的主要参数 136
- 4.7 减速器的结构和零部件设计 146
- 4.8 减速器齿轮传动效率和热功率计算 164
- 4.9 通用齿轮减速器的主要技术条件 169
- 4.10 减速器图例 171

第5章 行星差动传动承载能力的

计算 182

- 5.1 行星差动调速的传动方式 182

- 5.2 差速器的设计特点 184

- 5.3 差速器的结构特点 186

- 5.4 常用的齿轮材料 190

- 5.5 行星齿轮传动的简化计算 200

- 5.6 GB/T 3480—1997 的简化计算 203

- 5.7 40t 卸船机四卷筒机构行星差动减速器的设计计算 216

第6章 主要构件的结构与计算 236

- 6.1 浮动用齿式联轴器的设计与计算 236

- 6.2 齿轮的设计与计算 241

- 6.3 行星架的设计与计算 256

- 6.4 基本构件和行星轮支承结构的设计与计算 265

- 6.5 行星减速器机体结构 272

第7章 行星差动传动的应用与

设计 277

- 7.1 概述 277

- 7.2 四卷筒机构行星差动装置 278

- 7.3 离心机行星差速器 287

- 7.4 拖拉机上用的行星差速器 290

- 7.5 具有锥齿轮的行星传动差速器 290

- 7.6 工程机械上用的行星差速器 296

第8章 行星齿轮减速器 308

- 8.1 NGW 型行星齿轮减速器 (JB/T 6502—1993) 308

- 8.2 双排直齿行星减速器 (JB/T 6999—1993) 351

- 8.3 ZZ、PF、ZK、ZJ 型行星齿轮减速器 365

- 8.4 NLQ 型冷却塔专用行星齿轮减速器 (JB/T 7345—1994) 390

- 8.5 NGW-S 型行星齿轮减速器 400

- 8.6 风力发电传动装置 418

- 8.7 斗轮堆取料机 431

- 8.8 输出轴的联接方式 436

- 8.9 行星齿轮减速器典型结构图 527

- 8.10 悬浮均载行星齿轮减速器 541

第 9 章 传动装置的润滑与密封	546	10.6 行星齿轮减速器装配、调整及 试验	682
9.1 齿轮传动装置的润滑	546	第 11 章 行星差动装置的合理使用与 维护	689
9.2 传动装置的冷却	553	11.1 齿轮噪声及其控制	689
9.3 机械密封用 O 形橡胶圈 (JB/T 7757.2—2006)	557	11.2 液力耦合器的合理安装与调整	692
9.4 油封	561	11.3 减速器的润滑	696
9.5 汉升油封	564	11.4 安装、使用与维护	699
9.6 宝色霞板油封	574	附录	701
9.7 密封胶	597	附录 A 齿轮基本术语	701
9.8 润滑油泵	598	附录 B 齿轮磨损和损伤的基本类型 (GB/T 3481—1997)	704
第 10 章 行星差动制造技术	621	附录 C 缩略语	705
10.1 概述	621	附录 D 行星差动常用术语	707
10.2 行星差动制造工艺规范	636	参考文献	714
10.3 主要零件加工工艺	640		
10.4 零齿差齿轮副的加工	662		
10.5 齿轮加工刀具	664		

第1章 概 论

行星差动传动是2K-H型行星齿轮传动的一种特殊应用形式。它是利用2K-H型行星轮系三个自由度间的不同组合来实现运动或动力的分解、控制及调整。实际上行星差动传动技术用于车辆上的运动分解，转炉的倾动及拉伸弯曲矫直机的控制传动等，已经有多年的历史。近些年来，利用行星差动传动技术开发了许多新产品，在很多行业中发挥着重要作用。因此，有必要对行星差动传动技术作一专述，使其在机械工程行业中得到广泛的应用，产生巨大的经济效益和社会效益。

在工程界习惯上常将行星齿轮传动和行星差动传动的轮系传动机构，统称为行星齿轮传动，因此有些论述仍以行星齿轮传动为基础。

1.1 概述

1.1.1 轮系

由一系列齿轮组成的传动装置称为齿轮机构或轮系，是应用最广泛的机械传动形式之一。根据轮系运转时，各齿轮的几何轴线相对位置是否变动，可将轮系分为下列两种基本类型：

(1) 定轴轮系 当轮系运转时，若组成该轮系的所有齿轮的几何轴线位置是固定不变的，则称为定轴轮系或普通轮系。

(2) 周转轮系 当轮系运动时，若组成轮系的齿轮中至少有一个齿轮的几何轴线不固定，而绕着另一齿轮的几何轴线回转的，则称为周转轮系。图1-1所示的轮系中，齿轮a、b和构件（行星架）H均绕几何轴线OO回转（公转），故称周转轮系。

1.1.2 周转轮系的组成

(1) 行星轮 在周转轮系中，作自转和公转运动，如同行星的运动一样的齿轮，称为行星齿轮，如图1-1中的行星轮g。

(2) 中心轮 与行星轮相啮合而其轴线又与主轴重合的齿轮，称为中心轮，外齿中心轮用符号a表示，内齿中心轮用符号b或e表示。通常又将最小的外齿中心轮a称为太阳轮，而将固定不动的中心轮称为内齿圈。

(3) 转臂 支承行星轮并使之公转的构件称为转臂，又称为系杆

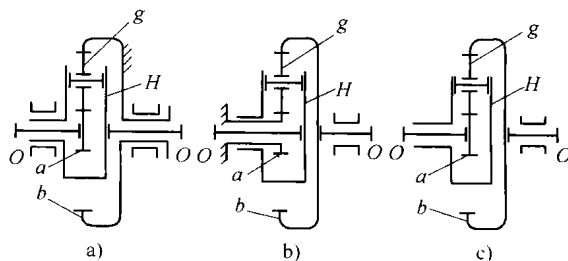


图1-1 行星传动机构简图

a)、b) 行星轮系 c) 差动轮系

a—太阳轮 g—行星轮 b—内齿圈 H—行星架

或行星架，用符号 H 表示。

(4) 基本构件 转臂（行星架） H 绕其转动的轴线称为主轴线，如图 1-1 中的 OO 。凡是轴线与主轴重合而又承受外转矩的构件称为基本构件，如图 1-1 中的太阳轮 a 、内齿圈 b 和行星架 H 。大多数周转轮系都具有这三个基本构件。

1.1.3 周转轮系的分类

周转轮系按其平面机构自由度的数目，可分为行星齿轮轮系和行星差动轮系两种。

(1) 行星齿轮轮系 平面机构自由度等于 1 的周转轮系称为行星齿轮轮系。在图 1-1a 所示周转轮系中，假设将内齿圈 b 与机架固连，运动构件（太阳轮 a 、行星轮 g 和行星架 H ）数 $n=3$ ，低副数 $P_L=3$ ，高副数 $P_H=2$ ，机构的自由度为

$$W=3n-2P_L-P_H=3\times 3-2\times 3-2=1$$

这说明只要有一个主动构件，轮系就有确定运动，即为行星齿轮轮系。将周转轮系的中心轮之一固定于机架图 1-1b。其他两个基本构件分别为主动构件和从动构件的结构，都是行星齿轮轮系。

(2) 行星差动轮系 平面机构自由度等于 2 的周转轮系，称为行星差动轮系。如图 1-1c 所示的周转轮系的内齿圈 b 能绕基本轴线 OO 转动，其运动构件数 $n=4$ ，低副数 $P_L=4$ ，高副数 $P_H=2$ ，该机构的自由度为

$$W=3n-2P_L-P_H=3\times 4-2\times 4-2=2$$

这说明这种轮系必须有两个具有独立运动的主动构件，才能有确定的运动，故称行星差动轮系。从结构上看，周转轮系三个基本构件都可以转动时，就成为行星差动轮系。如果从一个基本构件输入运动，行星差动轮系就将此运动分解为另外两个基本构件的运动而输出；反之，如果从两个基本构件输入各自独立的运动，则差动轮系就将其合成一个运动，由第三个基本构件输出。在实践中，前者如汽车后桥的行星差速器，后者如飞机螺旋桨用的一种驱动装置。

各种形式行星齿轮传动的名称，一般都是由其组成的基本构件命名的。一般中心轮的代号用 K ，则图 1-1 所示的行星齿轮传动是由两个中心轮（太阳轮、内齿圈） $2K$ 和行星架 H 等三个基本构件组成，因而称为 $2K-H$ 型行星齿轮传动。

按齿轮啮合方式分，图 1-1 行星齿轮传动称为 NGW 型。其中， N 表示内啮合， W 表示外啮合， G 表示内外啮合公用行星轮。

$2K-H$ (NGW) 型行星齿轮传动，由于有三个基本构件，任意固定其中一构件，就可以得到表 1-1 所列的几种传动方式。在行星动力变速器中，将单级 $2K-H$ 型传动作为基本行星排，三个基本构件分别作为主动、从动和固定构件，则可以组成两个减速，两个增速，两个倒档，共计六种传动方案，见表 1-1。而在一般的行星减速器中，应用最多的是内齿圈 b 固定，太阳轮 a 主动，行星架 H 从动的传动装置。反之，行星架 H 主动、太阳轮 a 从动，则为行星增速传动。当三个基本构件均不固定（自由度 $W=2$ ）时，便可得到行星差动传动，其主要特点是三个基本构件都可以转动。一般两个中心轮分别由两台电动机驱动。当两台电动机以不同的组合操作时，行星架 H 可以得到四种转速，即 b 轮固定、 a 轮主动为一种； a 轮固定、 b 轮主动为一种； a 轮与 b 轮分别同向或反向驱动时，又得到两种转速。

表 1-1 2K-H (NGW) 型行星传动形式

传动形式	行星架输出为减速		行星架输入为增速		行星架固定为倒转	
	太阳轮输入为大减	内齿圈输入为小减	太阳轮输出为大增	内齿圈输出为小减	太阳轮输入为减速	内齿圈输入为增速
传动简图						
传动比	$i_{aH}^b = 1 + p$ $= 1 + \frac{z_b}{z_a}$	$i_{bH}^a = \frac{1+p}{p}$ $= 1 + \frac{z_a}{z_b}$	$i_{Ha}^b = \frac{1}{1+p}$ $= \frac{z_a}{z_a + z_b}$	$i_{Hb}^a = \frac{p}{1+p}$ $= \frac{z_b}{z_a + z_b}$	$i_{ab}^H = -p$ $= -\frac{z_b}{z_a}$	$i_{ba}^H = -\frac{1}{p}$ $= -\frac{z_a}{z_b}$

注: i 表示固定构件; $p = z_b/z_a$ (z 为齿数)。
 表示从动构件
 表示主动构件

1.2 行星齿轮传动的类型

行星齿轮传动的类型很多,分类方法也不少。本书主要根据前苏联库德略采夫(В. Н. Кудрявцев)提出的按行星传动机构基本构件组成来进行分类。这是因为库氏的分类法较好地体现了行星传动机构的特点,而且在我国和国外(如前苏联、日本等)早已被人们普遍采用和接受了。在此分类法中,基本构件代号为:K—中心轮(太阳轮和内齿圈),H—行星架(转臂或系杆),V—输出轴。根据基本构件代号来命名,行星齿轮传动可分为2K-H、3K和K-H-V三种基本类型。其他结构形式的行星齿轮传动大都是它们的演化形式或组合形式。

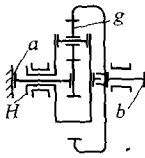
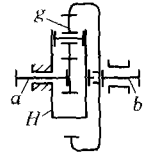
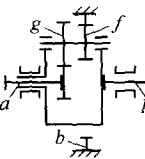
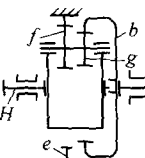
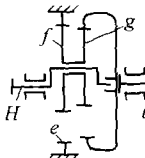
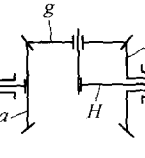
我国按传动机构中齿轮的啮合方式进行分类,可将上述三大基本类型再细分为许多传动形式,如NGW、NW、NN、WW、NGWN和ZUWGW型等。代表类型的字母含义为:N—内啮合,W—外啮合,G—内外啮合公用行星齿轮,ZU—锥齿轮。

表1-2列出了行星齿轮传动机构的类型和特点。下面逐一加以阐述。

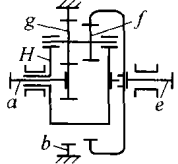
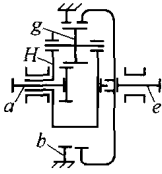
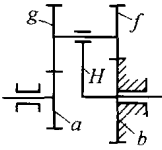
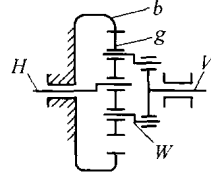
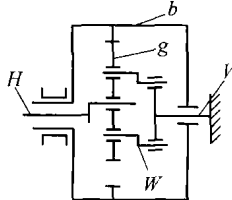
表 1-2 行星齿轮传动机构的类型和特点

序号	传动类型		传动简图	合理传动比范围	效率概略值	特点及用途
	按基本构件分类	按啮合方式分类				
1	2K-H (负号机构)	NGW		$i_{aH}^b = 3 \sim 9$	0.970 ~ 0.990	体积小,结构简单,效率高,重量轻,制造方便,在各种机械传动中广泛应用

(续)

序号	传动类型		传动简图	合理传动比范围	效率概略值	特点及用途
	按基本构件分类	按啮合方式分类				
2	2K-H (负号机构)	NGW		$i_{Hb}^a = 1.13 \sim 1.5$	0.990 ~ 0.996	体积小,效率高,但传动比小,一般应用较少
3	2K-H (负号机构)	NGW		$i_{ab}^H = -(2 \sim 8)$	0.960 ~ 0.985	实际是定轴轮系,常用于输入轴和输出轴在同一直线上的减速传动
4	2K-H (正号机构, 双排行星轮)	NW		$i_{aH}^b = 7 \sim 16$	0.970 ~ 0.990	体积比单排 2K-H 小,效率高,传动比大,一般工作条件均可使用。但因双联行星轮制造困难,安装复杂,故 $i \leq 7$ 时不推荐采用
5	2K-H (正号机构, 双排行星轮)	NN		$i_{Hb}^c = 8 \sim 30$	0.750 ~ 0.800	传动比范围较大,但效率较低。行星架转速高时,振动和噪声较大
6	2K-H (正号机构, 双排行星轮)	NN		$i_{Hb}^c = 25 \sim 300$	0.400 ~ 0.900	传动比范围大,效率低,一般可用于短期工作制度的传动中
7	2K-H (锥齿轮, 负号机构)	ZUWGW		$i_{aH}^c = 1 \sim 2$	0.950 ~ 0.980	一般用作差速器

(续)

序号	传动类型		传动简图	合理传动比范围	效率概略值	特点及用途
	按基本构件分类	按啮合方式分类				
8	3K	NGWN		$i_{ae}^b = 20 \sim 500$	0.800 ~ 0.900	结构紧凑,体积小,传动比范围大,但效率较低,制造和安装较复杂,所以只适用于短期工作的中小功率传动。若中心轮 a 为从动轮时,当 $ i $ 大于某一数值后,传动将发生自锁
9	3K	NGWN		$i_{ae}^b = 60 \sim 500$	0.700 ~ 0.840	结构紧凑,体积小,传动比范围大,但效率较低,制造和安装较复杂,所以只适用于短期工作的中小功率传动。若中心轮 a 为从动轮时,当 $ i $ 大于某一数值后,传动将发生自锁
10	2K-H (正号机构, 双排行星轮)	WW		$i_{aH}^b = 1.2 \sim \text{几千}$	随 $ i $ 增加而下降	传动比范围大,外形尺寸和重量较大,效率低,制造困难,一般不用于动力传动。若行星架为从动件,当 $ i $ 大于某一值时,传动将发生自锁
11	K-H-V	N		$i_{HV}^b = 7 \sim 135$	0.800 ~ 0.940	传动比范围大,结构紧凑,体积小,重量轻,但制造精度要求较高,一般用于 $\leq 100\text{kW}$ 的传动
12	K-H-V	N		$i_{Hb}^b = 8 \sim 136$	0.800 ~ 0.940	传动比范围大,结构紧凑,重量轻,用于内齿圈输出的提升机、电滚筒中

1.2.1 2K-H 型行星齿轮传动

拥有两个中心轮 (2K)、一个转臂 (H) 的行星齿轮机构的类型代号为 2K-H。在 2K-H 传动中, 若转臂固定, 中心轮 a 和 b 的回转方向相反, 则这种条件下的传动比 i_{ab}^H (右上角标 H 代表固定构件) 规定为负号, 即 $i_{ab}^H < 0$, 称为负号机构。若转臂 H 固定, 中心轮 a 和 b 的转向相同, 这时的传动比规定为正号, 即 $i_{ab}^H > 0$, 称为正号机构。2K-H 行星齿轮传动又可分为如下几种形式 (其传动简图见表 1-2):

(1) NGW 型 该型由内、外啮合和公用行星轮组成。它的结构简单, 轴向尺寸小, 工艺性好, 效率高, 然而传动比较小。但 NGW 型能多级串联成传动比大的轮系, 这样便克服了单级传动比较小的缺点。故 NGW 型成为动力传动中应用最多、传递功率最大的一种行星传动。

(2) NW 型 该型由一对内啮合和一对外啮合齿轮组成。由于把行星轮做成双联齿轮, 使其为双排内、外啮合而没有公用齿轮。与 NGW 型相比, NW 型传动比范围大, 效率相仿, 轴向尺寸大, 结构较复杂, 工艺性差一些, 当传动比大于 7 时, 径向尺寸显著减少。

(3) WW 型 该型由双排两对外啮合齿轮组成。其突出的特点是能通过调整四个齿轮的齿数, 轻而易举地得到 1.2 至数千范围的传动比; 但效率低, 并且随着传动比增加而急剧下降。当传动比大于某数值后, 轮系就自锁。故 WW 型多用于传递运动, 而很少用于传递动力 (若用于差动传动时, 功率可较大)。

(4) NN 型 该型由双排两对内啮合齿轮组成, 通过调整行星轮与中心轮的齿数关系, 可以得到的传动比范围比 NGW 型的大; 但效率低, 传动比大到一定程度会出现自锁。与 WW 型相比, NN 型尺寸紧凑, 效率稍高。故 NN 型一般用于小功率、短时、间断工作制的传动装置中。

(5) ZUWGW 型 该型由两对外啮合锥齿轮组成, 有一个公用行星轮。除具有 NGW 型的特点外, 其行星轮轴线与两中心轮轴线垂直, 便于从两边出轴。主要用作差动装置, 很少用作减速传动。

1.2.2 3K 型行星齿轮传动

这种传动由三个中心轮 a 、 b 、 c , 转臂 H 及双联行星齿轮组成。由于转臂 H 不承受外力矩, 仅起支承行星轮的作用, 故不是基本构件, 三个中心轮是基本构件。按拥有基本构件的情况, 将这类轮系称为 3K 型, 而按啮合方式则为 NGWN 型。

3K 型轮系可以较小的尺寸实现小于 500 的传动比, 且可以组成串联的多级 NGWN 型轮系。但与 2K-H 类的 NGW 型相比, 效率低且随传动比的增加而显著降低, 工艺性也差, 故该轮系只适于中小功率的短时间断性工作制的动力传动装置。

1.2.3 K-H-V 型行星齿轮传动

这种传动的基本构件为内齿中心轮 b 、转臂 H 和构件 V , 称为 K-H-V 类轮系。这类传动仅有一种形式, 因只有一对内啮合齿轮, 所以按啮合方式属于 N 型。

当转臂 H 输入运动时, 行星轮 g 与内齿中心轮 b 啮合。因 b 是固定的, g 被迫绕自身轴线自转, 同时又随转臂 H 绕主轴线公转; 又因行星轮 g 与构件 V 不同心, 其合成转动是

平面运动,必须借助于一个输出机构才能将转动传给 V 。这个输出机构称为 W 机构,常用的输出机构有销轴式、浮盘式、滑块式、零齿差式等。

K-H-V型轮系的传动比是靠一对内啮合齿轮的齿数差实现的,齿数差通常为 $1\sim 4$ 。当主动齿轮的齿数足够多时就能得到大的传动比,所以又称少齿差行星齿轮传动。

K-H-V型传动结构紧凑、尺寸小,单级传动比为 $10\sim 100$,效率较高(齿轮用渐开线齿形时 $\eta_{hv}^b=0.8\sim 0.94$),齿轮强度高,常用于减速传动装置。

以上所述各行星齿轮机构,若它们的三个中心构件都回转,则成为差动齿轮机构。虽然2K-H、3K和K-H-V三种类型都可作为差动齿轮机构,但实际上只采用2K-H型作差动机构,因为它是在最低成本条件下能实现的最可靠机构。

此外,封闭行星齿轮机构,即差动行星齿轮机构中的中心轮与转臂之间,或两中心轮之间形成封闭运动链,实际上大多也是2K-H型加上封闭运动链构成的。由此可见2K-H型应用范围之广。

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,当它们的零件材料和力学性能、制造精度、工作条件等均相同时,前者具有一系列突出的优点,因此它常被用作减速器、增速器、差速器和换向机构以及其他特殊用途。行星齿轮传动的主要特点如下:

(1) 体积小、重量轻、结构紧凑,传递功率大、承载能力高 这个特点是由行星齿轮传动的结构等内在因素决定的。

1) 功率分流。用几个完全相同的行星齿轮均匀地分布在中心轮的周围来共同分担载荷,因而使每个齿轮所受的载荷较小,相应齿轮模数就可较小。在均载情况下,随着行星轮的增加,其外形尺寸随之减小,如图1-2所示。

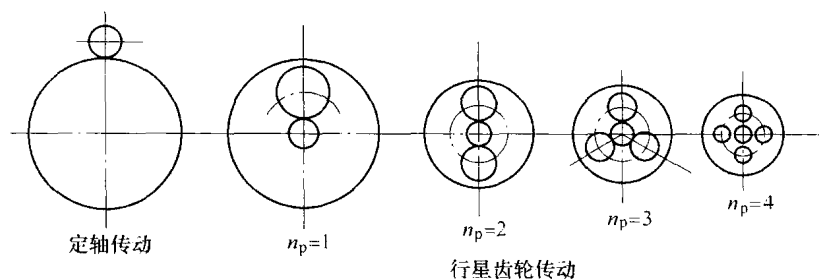


图1-2 在行星轮均载的情况下,随着行星轮的增加,所制的传动装置愈加紧凑(自左向右),外形总尺寸也随之减小(图中 n_p 为行星轮个数)

2) 合理地应用了内啮合。充分利用内啮合承载能力高和内齿轮(或称内齿圈)的空间容积,从而缩小了径向、轴向尺寸,使结构很紧凑而承载能力又很高。

3) 共轴线式的传动装置。各中心轮构成共轴线式的传动,输入轴与输出轴共轴线,使这种传动装置长度方向的尺寸大大缩小。

(2) 传动比大 只要适当选择行星传动的类型及配齿方案,便可利用少数几个齿轮而得到很大的传动比。在不作为动力传动而主要用以传递运动的行星机构中,其传动比可达到

几千。此外，行星齿轮传动由于它的三个基本构件都可以转动，故可实现运动的合成与分解，以及有级和无级变速传动等复杂的运动。

用行星齿轮传动可获得大的传动比，但必须注意，其传动效率是相当低的。首先，BOCK 在 1879 年阐述了用锥齿轮传动，可获得传动比 $i = 10^6$ 的行星传动装置。后来 Furman 论述了如图 1-3 所示的，其传动比为 $i = 262500$ 的行星齿轮传动装置。其中， a 为驱动轴， b 为被动轴，图上的数字为齿数，齿数 $z_6 = 303$ 的齿轮被固定。

(3) 传动效率高 由于行星齿轮传动采用了对称的分流传动结构，即它具有数个均匀分布的行星齿轮，使作用于中心轮和转臂轴承中的反作用力相互平衡，有利于提高传动效率。在传动类型选择恰当，结构布置合理的情况下，其效率可达 $0.97 \sim 0.99$ 。

(4) 运动平稳、抗冲击和振动的能力较强 由于采用数个相同的行星轮，均匀分布于中心轮周围，从而可使行星轮与转臂的惯性力相互平衡，另外也使参与啮合的齿数增多，故行星齿轮传动的运动平稳，抗冲击和振动的能力较强，工作较可靠。

表 1-3 列出了 Delaval 公司生产的传动比 $i = 7.15$ ，功率 $P = 4400\text{kW}$ 的行星齿轮减速器与一般减速器的比较，从中可见行星齿轮机构的优越性。

表 1-3 行星齿轮减速器与普通定轴齿轮减速器的比较

项 目	行星齿轮减速器	普通定轴齿轮减速器	项 目	行星齿轮减速器	普通定轴齿轮减速器
质量/kg	3471	6943	体积/ m^3	2.29	6.09
高度/m	1.31	1.80	齿宽/m	0.18	0.41
长度/m	1.29	1.42	损失功率/kW	81	95
宽度/m	1.35	2.36	圆周速度/ (m/s)	42.7	99.4

在具有上述特点和优越性的同时，行星齿轮传动也存在一些缺点，例如结构形式比定轴齿轮传动要复杂一些；对制造质量要求较高；由于体积小、散热面积小导致油温升高，故要求具有严格的润滑与冷却装置等。

1.4 行星差动传动的发展概况

我国是发明齿轮和应用齿轮传动最早的国家。早在西汉时代（约 1 世纪）已应用了铸铜齿轮；东汉时代（公元 78 ~ 139 年）张衡已用了较复杂的齿轮系。特别是在行星差动传动方面，我国早在南北朝时代（公元 429 ~ 500 年），世界闻名的伟大科学家祖冲之发明了如图 1-4 所示，具有锥齿轮行星差动传动的指南车。这种由锥齿轮组成的行星差动传动能保证“圆转不穷，而司方如一”。因此，我国行星差动传动的应用比欧美各国早 1300 多年。

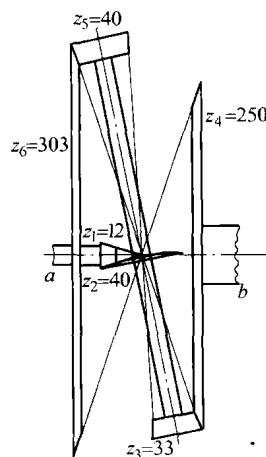


图 1-3 传动比 $i = 262500$ 的行星齿轮传动装置