

煤矿机械行星齿轮 传动理论与实践

沈慧芬 编著

煤炭工业出版社



煤矿机械行星齿轮传动 理论与实践

沈慧芬 编著

煤炭工业出版社

(京)新登字 042 号

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿机械行星齿轮传动理论与实践/沈慧芬编著. —北京: 煤炭工业出版社, 1995

ISBN 7-5020-1212-5

I. 煤… II. 沈… III. 煤矿-矿山机械-行星齿轮传动
IV. ①TD403②TH 132.425

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 10093 号

煤矿机械行星齿轮传动理论与实践

沈慧芬 编著

责任编辑: 顾建中 于杰

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京安定门外和平里北街 21 号)

北京密云春雷印刷厂 印刷

*

开本 787×1092mm^{1/32} 印张 6^{3/8}

字数 137 千字 印数 1—1,500

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

书号 3980 定价 9.80 元

内 容 提 要

本书全面系统地论述了渐开线行星齿轮传动的基本理论、设计计算方法及其在煤矿机械中的实际应用的特点和水平。本书由四部分组成：第一部分为概论。第二部分为 $2Z-X$ 类行星齿轮传动。第三部分为 $Z-X-F$ 类渐开线少齿差行星传动。第四部分则全面介绍了行星齿轮传动在当今煤矿机械中的研究与应用水平。

本书可作为机械工程，特别是煤矿机械工程的科研工作者和工程技术人员从事研究、设计和制造时的参考书，也可作为机械专业大学生与研究生的教学用书及教师参考用书。

前 言

行星齿轮传动是当今世界各国机械传动技术发展的重点之一。它具有一系列特点：体积小，重量轻、传动比范围大、效率高，适用的功率和速度范围大。在国外，行星齿轮传动应用极为普遍，不少国家均有系列产品，并已大量生产，设计和制造水平均已达到相当高度。相比之下，我国在这方面还存在一定差距。

我国是世界上的产煤大国，煤炭工业是我国能源工业的基础，全国能源总消费量的75%左右由煤炭工业提供。为实现煤炭工业现代化，适应煤炭产量日益增长的需要，我国从七十年代起，开始引进国外先进的煤矿机械。国外煤矿机械中广泛采用行星传动这一事实给了我们以启迪，在井下特殊的工作环境下（狭窄的作业空间，困难的工作条件等），煤矿机械采用行星齿轮传动是势在必行的。经过多年的研究与实践，目前我国煤矿机械中的许多大型设备，如采煤机、掘进机、矿井提升机等，均已采用行星齿轮传动，并在理论研究和实验研究方面进行了大量工作，使我国煤矿机械行星齿轮传动的设计及制造水平有了很大提高。

然而，迄今为止，在煤矿机械领域尚没有一本结合煤矿机械的特点，全面系统论述行星齿轮传动的基本理论，设计计算方法和总结其在煤矿机械中的实际应用情况的专著，作者期望通过本书填补这一空白。

本书在论述行星传动的基本理论与设计计算方法中，对

传动比计算、传动效率公式推导、齿轮变位系数选取等方面的内容，提出了思路清晰、简明易懂的方法。在论述煤矿机械行星齿轮传动的应用技术水平中，力求作到论据充实、材料新颖，充分反映行星齿轮传动现代设计计算方法和科学研究在煤矿机械实际应用中的最新成果。

本书在编著过程中，得到了鸡西煤矿机械厂、洛阳矿山机器厂、西安煤矿机械厂、煤炭科学研究总院上海分院、中煤设备成套总公司、中国煤矿机械装备公司等有关单位和同志的支持与帮助，中国矿业大学北京研究生部陈蕾同志协助了第四章的编写工作，特此一并表示感谢。

限于编著者的水平与时间，本书缺点和错误在所难免，敬请读者予以批评指正。

作者

1994年9月

于中国矿业大学北京研究生部

目 录

前 言

第一章 概论	1
第一节 行星齿轮传动的定义	1
第二节 行星齿轮传动的分类和命名	3
第三节 行星齿轮传动的特点	7
第二章 2Z-X 类行星齿轮传动	10
第一节 行星齿轮传动的传动比计算	10
第二节 2Z-X 类行星齿轮传动的效率	28
第三节 行星齿轮传动承载能力计算	40
第四节 行星齿轮传动齿轮齿数的选择	58
第五节 变位齿轮在行星传动中的应用	69
第六节 行星齿轮传动装置的均载机构	91
第三章 渐开线少齿差行星齿轮传动	114
第一节 概述	114
第二节 少齿差传动中内齿轮副的几何设计	124
第三节 少齿差齿轮传动的输出机构	145
第四节 少齿差齿轮传动的承载能力计算	152
第四章 行星齿轮传动在煤矿机械中的应用	160
第一节 行星齿轮传动在采煤机和工作面刮板输送机 中的应用	160
第二节 行星齿轮传动在巷道掘进机中的应用	170
第三节 行星齿轮传动在煤矿提升设备中的应用	178
第四节 行星齿轮传动在矿用小绞车中的应用	184
第五节 我国煤矿机械行星齿轮传动的技术水平	190
参考文献	194

第一章 概 论

第一节 行星齿轮传动的定义

讨论行星齿轮传动的定义,首先要从轮系的分类谈起。在各种机械中,常常采用一系列互相啮合的齿轮,将主动轴和从动轴连接起来,这种以一系列齿轮组成的传动装置称为轮系。根据轮系运转时其各轮几何轴线的相对位置是否变动,轮系可以分为下列两种基本类型:

1. 定轴轮系

当轮系运转时,若各轮的几何轴线相对于机架的位置是固定不变的,则称为定轴轮系或普通轮系。

2. 周转轮系

当轮系运转时,组成轮系的齿轮中至少有一个齿轮的几何轴线绕着另一齿轮的几何轴线转动者,称为周转轮系。如图 1-1 所示的轮系,其中齿轮 a、b 和构件 X 均绕几何轴线 O 转动,而齿轮 c 一方面绕自身的几何轴线 O_c 转动(自转),同时又随其几何轴线绕固定的几何轴线 O 回转(公转),故为周转轮系。

在周转轮系中具有自转和公转的齿轮称为行星轮,如图 1-1 中的轮 c。用以支持行星轮并使其得到公转的构件称为转臂,用符号 X 表示。与行星轮相啮合而其轴线与转臂轴线相重合的齿轮称为中心轮,如齿轮 a 和 b,通常称外齿中心轮为太阳轮,内齿中心轮为内齿轮。转臂绕之转动的轴线称为

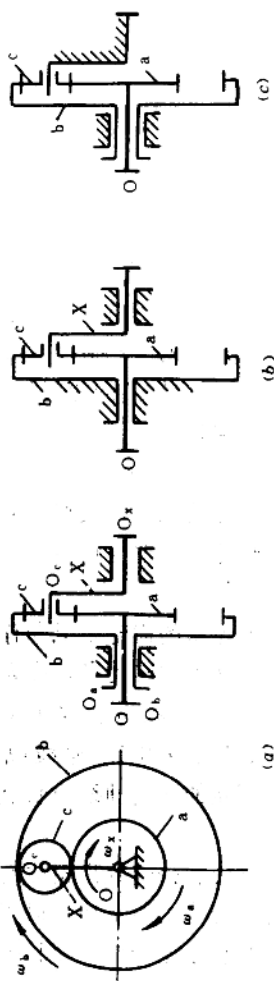


图 1-1 具有三个基本构件的周转轮系

主轴线。凡是轴线与主轴线重合而又承受外力矩的构件称为基本构件，如图 1-1 中的齿轮 a、b 及转臂 X 均为基本构件。

周转轮系按其自由度又可分为两种基本类型：(1) 差动轮系——即具有两个自由度的周转轮系，如图 1-1a 所示。对这种轮系，必须给定其中两个基本构件的运动后，其余各构件的运动才能完全确定。(2) 行星轮系——即具有一个自由度的周转轮系。例如将图 1-1a 所示轮系中的中心轮 b (或 a) 固定，则其自由度为 1，即为行星轮系，如图 1-1b 所示。这种轮系只要知道其中一基本构件的运动后，其余各构件的运动便可完全确定。如果将图 1-1a 中的转臂 X 固定，该机机构便成为定轴轮系，如图 1-1c 所示。

在各种实际机械中所用的轮系，往往不只是单纯的定轴轮系或单纯的周转轮系，而是既包含定轴轮系部分，又包含周转轮系部分，我们常把这种复杂的轮系称为混合轮系。

需要指出的是，目前，工程界习惯上常将差动轮系和行星轮系的齿轮传动机构统称为行星齿轮传动。因此，行星齿轮传动并不是专指周转轮系中自由度为 1 的一种传动形式。换句话说，齿轮传动系统中，凡包含一个或一个以上行星轮的传动，统称为行星齿轮传动。本书也沿用了这个习惯。

本书主要论述 2Z-X 及 Z-X-F 类行星传动，在 2Z-X 类中，重点讨论 NGW 型传动。

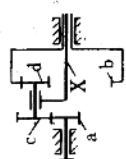
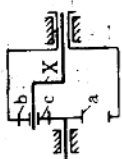
第二节 行星齿轮传动的分类和命名

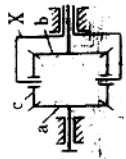
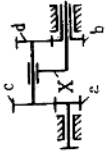
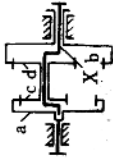
行星齿轮传动的类型参见表 1-1。

行星齿轮传动的类型很多，按其基本构件代号可分为 2Z-X、3Z 和 Z-X-F 三大类 (其中 Z——中心轮、X——转臂)，其它各种复杂的行星轮系，大抵可以看成这三种轮系的

表 1-1 行星齿轮传动类型和特点

传动类型		机构简图	传动特性				应用特点
类	组		型	传动比范围	传动比推荐值	传动效率	
2Z-X	负号	NGW	1.13 ~13.7	$i_{gx} = 2.7 \sim 9$	$\eta_{gx} = 0.97$ ~0.99	不限	广泛地用于动力及辅助传动中, 工作制度不限, 可作为减速、增速和差速装置 轴向尺寸小, 便于串联成多级传动, 工艺性好
		NW	1~50	$i_{gx} = 5 \sim 25$	$\eta_{gx} = 0.97$ ~0.99	不限	当 $ i_{gx} > 7$ 时, 径向尺寸比 NGW 型小, 可推荐采用 工作制度不限 制造、装配较 NGW 型复杂



<p>2Z-X</p>	<p>负号机构</p>		<p>1~2</p>	<p>1</p>	<p>当 $n_a = 0$ 或 $n_b = 0$, 并用滚动 轴承时 $\eta =$ 0.98</p>	<p>≤ 60</p>	<p>主要用于差动装置</p>
<p>正号机构</p>	<p>WW</p>		<p>从 1.2 到数千</p>		<p>η_{ab} 很低, 且随传动 比 i_{ab} 增加 而急剧降</p>	<p>很少用于 动力传动 短时工 作制时 ≤ 20</p>	<p>当传动比要求 大而效率要求 高时采用,较 小传动比可用 于差速传动 装配不便,运 转精度低 当转臂 X 从 动时, i_{ab} 大 于某值后,机 构自锁</p>
	<p>NN</p>		<p>≤ 1700</p>	<p>一个星轮时 $i_{ab} = 30 \sim$ 100, 三个星 轮时 $i_{ab} < 30$</p>	<p>效率较低 且随传动 比 i_{ab} 增加 而降低, $i < 50$ 时 $\eta_{ab} \leq 0.8$</p>	<p>≤ 40</p>	<p>可用于短时,间断性工作制动力传动 转臂 X 为从动件时,当 i_{ab} 达某值后,机构自锁</p>

续表

传动类型			机构简图	传动特性				应用特点
类	组	型		传动比范围	传动比推荐值	传动效率	传递功率 (kW)	
Z-X-F	正号机构	N		10 ~100	渐开线齿形 $\eta_F = \sim$ 0.80 0.94	≤ 75	结构紧凑, 齿形易加工, 但行星轮轴承的径向力大 渐开线少齿差传动推荐用于短齿制; 摆线针轮少齿差传动可用于任意工作制, 但高速轴转速 $n_s \leq 1500 \text{r/min}$	
3Z	正、负号机构	NGWN		≤ 500	$i_{ik} = 20 \sim 100$	传动比增大而下降 当 $i_{ik} \leq 50$ 时 $\eta \approx 0.8$	≤ 100	结构很紧凑, 适用于中、小功率的短时工作制传动 工艺性较差 当 a 轮从动时, 机构达到某值后, 机构会自锁, 即 $\eta < 0$

联合或组合机构。每一大类又有正号机构和负号机构之分。当转臂 X 固定时，主、从动轮转动方向相同的，称为正号机构；反之称为负号机构。按传动机构中齿轮的啮合方式，又可分为许多种传动型式，如 NGW 型、NW 型、NN 型、WW 型、ZUWGW 型、NGWN 型和 N 型等（其中 N——内啮合，W——外啮合、G——公用齿轮、ZU——锥齿轮）。

第三节 行星齿轮传动的特点

行星齿轮传动的特点是：在机械原理上，由于把定轴传动变为动轴传动，增加了机构的自由度，能在构件之间进行运动合成，或者进行机构组合；在结构上，合理地利用了内啮合，在内外两个中心轮之间对称布置数个行星轮，形成功率分流传动；在受力状态上，采用一个齿轮多点啮合、对称受力。

这些特点使周转轮系具有定轴轮系无法比拟的优点：

(1) 体积小、重量轻、结构紧凑、传递功率大、承载能力高。在传动同功率同传动比的条件下，行星齿轮传动的外廓尺寸和重量都比普通齿轮传动的小，如图 1-2 所示。图中阴影线表示行星传动。同时行星齿轮传动传递的功率可以很大，目前大功率行星齿轮传动中，其所传递的功率高达数千，最大超过五万 kW。

(2) 传动效率高，工作可靠。当传动类型选择得当，结构布置合理时，其效率可达 0.99。随着行星轮数目增多，同时啮合的齿数亦增多，故行星传动运转平稳，噪音小，抗冲击和振动的能力增强，因而工作很可靠。

(3) 传动比大，并可实现运动的合成与分解、变速和变向。只要适当选择传动类型及各齿轮的齿数，便可利用少数

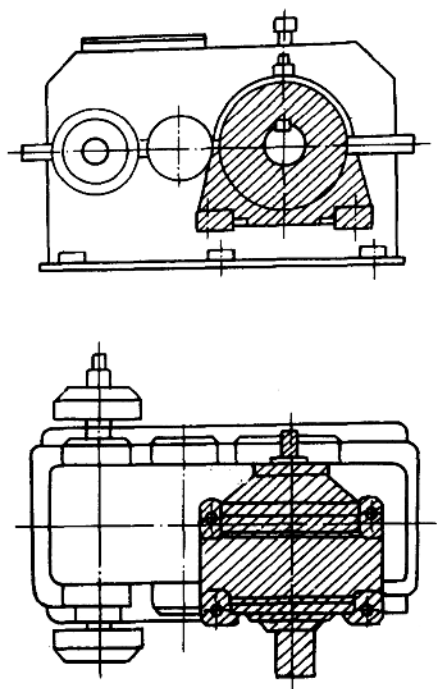


图 1-2 普通定轴齿轮减速器与行星
齿轮减速器外廓内廓尺寸比较

几个齿轮获得很大的传动比。如由四个齿轮组成的 WW 型（参见表 1-1 内机构简图）轮系，可得到 10000 以上的传动比。

(4) 输入轴和输出轴同轴线，即所谓同轴传动，使传动装置布局紧凑、安装使用方便。

由于具有上述突出的优点，故目前行星齿轮传动不仅适用于高速大功率，而且在低速大转矩设备上也已推广使用。它几乎适用于一切功率、速度范围和一切工作条件，成为世界各国机械传动发展之重点。

第二章 2Z-X 类行星齿轮传动

从表 1-1 中可以看出, 2Z-X 类行星传动类型多, 应用范围广。其中尤其是 NGW 型行星齿轮传动的优点较多, 主要是传动效率高, 承载能力大, 传递功率不受限制, 结构简单, 制造及装配工艺性好, 而且轴向尺寸小, 便于串联成多级传动。它广泛用于动力及辅助传动中, 工作制度不限, 不但可用作减速、增速, 而且在差速装置中, 用得也较多。

NGW 型行星齿轮传动(参见图 1-1), 有三个基本构件, 即构件 a、b 和 X。任意固定其中一构件, 即可得到表 2-1 所列的几种传动方式。在一般行星减速器中, 应用最多的是内齿圈 b 固定, 太阳轮 a 主动, 转臂 X 从动的传动装置。当三个基本构件均不固定(如图 1-1a 所示)时所得之行星差动机构的主要特点是三个基本构件均可转动。一般两个中心轮分别由两台电机驱动。当电机以不同的组合操作, 从动构件 X 即可得到多种转速。

第一节 行星齿轮传动的传动比计算

一、定轴轮系的传动比计算

在轮系中, 主动构件的角速度(或转速)与从动构件的角速度(或转速)之比称为该轮系的传动比。

对于由圆柱齿轮组成的定轴轮系, 其主动轴 A 与从动轴 B 的传动比为