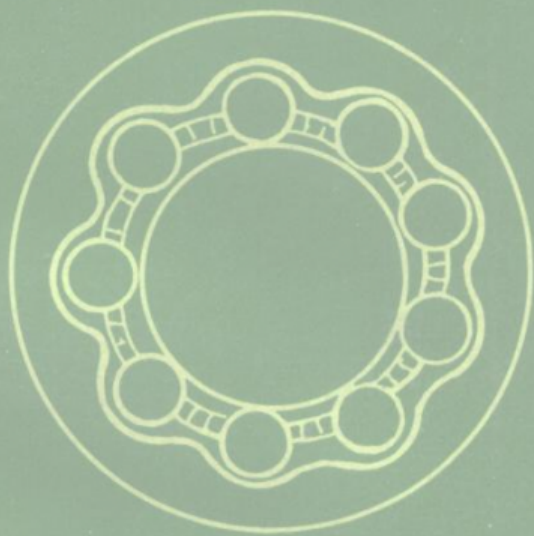


活齿传动理论

曲继方 著



机械工业出版社

74/32.41

282

372197

活齿传动理论

曲继方 著



机械工业出版社

(京) 新登字054号

内 容 简 介

本书为我国第一部活齿传动理论专著,系统、扼要地论述了由结构理论、运动学理论、齿形理论、齿形形成及检测理论和啮合理论等基本理论组成的活齿传动机构学理论。作为活齿传动机构学理论的应用实例,书中分析了移动活齿和摆动活齿两大类型的11种典型的活齿传动,反映了作者应用机构学理论研究活齿传动所取得的理论成果。

全书共15章,第1~6章为活齿传动机构学理论;第7~15章为应用活齿传动机构学理论分析典型活齿传动的实例。

本书可供从事齿轮研究、设计、制造的工程技术人员使用,也可作为机械专业本科生、研究生的教学参考书。



责任编辑:王世刚

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本: 850×1168 1/32·印张10·5/8·字数 280 千字

1993年4月北京第1版·1993年4月北京第1次印刷

印数 0 001—1 300·定价: 13.40元

*

ISBN 7-111-03685-9/TH·435

前 言

活齿少齿差行星齿轮传动（简称活齿传动）是一种用来传递两同轴间回转运动的机械传动。它具有传动结构紧凑、传动比范围广、承载能力大、传动效率高等优点。早在60年代，国际上苏、美、日、联邦德国等国都在积极开展研究工作，先后开发出推杆活齿减速机、正弦钢球减速机等多种结构型式，现已应用到机械、汽车、采矿、石油钻探等工业部门。到80年代，国际上研究活齿传动技术的国家更多了，公布了一批活齿传动的专利技术，发表了一些专题论文，开拓出多种新型结构，这表明活齿传动的理论、应用研究已成为齿轮传动中相当活跃的领域。

我国的活齿传动理论、开发研究虽然起步较晚，但在产品开发上已经取得不少成绩，先后开发出推杆活齿针轮减速机、变速传动轴承减速机、密切圆活齿传动、滚道减速机、套筒活齿减速机、摆动活齿减速机等，有的还在国际、国内获奖。与此相比，在理论研究方面却显得比较薄弱，没有建立起一个准确反映活齿啮合本质、可以用来研究活齿传动各种类型统一的“活齿传动基础理论”。因此，活齿传动的研究和开发在缺少系统理论指导的情况下，很难达到更高的层次。

活齿传动的理论和应用研究，在国内外都存在两个本质性问题需要解决：1)为活齿传动创始意念设计提供的结构类型较少，因此工程上为不同的用途而择优的可能性受到限制。2)工程中已开发出的活齿减速机，当啮合副形成间隙后，由于理论齿形的改变，使活齿传动应当具备的优点不同程度地丧失。

目前在国内外一些有关研究活齿传动的文献中，采用较多的研究方法是，根据一种传动型式或一种选定的特殊性质齿形来研究特定的活齿传动，所得结论仅服务于该种传动，对其它的活齿

传动型式就不一定适用。

本书的目的是在分析各种活齿传动型式不同研究实践的基础上,上升为理论认识,建立一种统一的研究活齿传动的基础理论。

本书综合了作者多年来的理论研究成果,对典型活齿传动的分析与综合,不采众家所长,不扬此抑彼,仅为了说明“活齿传动理论”应用的普遍性。

本书由两部分内容组成:第一部分是活齿传动的基础理论。讲述活齿传动的结构理论、运动学理论、齿形理论和啮合理论;第二部分是典型活齿传动的分析与综合。应用基础理论讨论了推杆活齿传动、滚柱活齿传动、套筒活齿传动、摆动活齿传动、平面钢球传动、摆盘式活齿传动、钢球传动、二齿差活齿传动、旋转活齿传动等典型活齿传动分析与综合的基本问题。

本书的特色是,应用高低副替代原理及等效机构原理,将低副的连杆机构的分析与综合方法及获得的主要结果,推广到属于高副机构的活齿传动的研究中去,经演化、概括形成了以“瞬时等效机构法”为核心的研究活齿传动各种类型统一的“活齿传动分析与综合的基础理论”。这是一门与生产实践紧密结合的技术科学。

本书承黄真教授仔细审阅,提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢。

限于作者水平,书中疏误之处在所难免,恳请读者批评指正。

著 者

1992.7

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 概述.....	1
第二节 活齿传动的特点及应用.....	3
第三节 本书研究的内容和方法.....	9
第二章 活齿传动的结构理论	11
第一节 典型活齿传动的结构和工作原理.....	11
第二节 啮合副的组成特征及结构模型.....	22
第三节 活齿传动按结构特征分类.....	26
第四节 二级活齿传动的结构.....	28
第三章 活齿传动的运动学	32
第一节 活齿的运动学.....	32
第二节 活齿传动的运动转换.....	37
第三节 活齿传动的传动比.....	40
第四节 二级活齿传动的传动比计算.....	48
第四章 活齿传动的齿形理论	54
第一节 齿形研究的两类基本问题.....	54
第二节 活齿传动齿形综合正解.....	55
第三节 活齿传动齿形综合反解.....	67
第四节 活齿传动齿廓修形原理及方法.....	74
第五节 共轭齿形的替代齿形.....	86
第五章 活齿传动齿形的形成及检测	93
第一节 移动活齿传动齿形的形成.....	93
第二节 摆动活齿传动齿形的形成.....	103
第三节 应用数控机床形成齿形.....	111

第四节	中心轮齿形的检测	112
第六章	活齿传动的啮合理论	121
第一节	啮合状态几何模型	121
第二节	活齿传动的连续传动条件	125
第三节	活齿传动的重合度 ε	135
第四节	活齿传动的滑动率 U	139
第七章	推杆活齿传动	155
第一节	推杆活齿传动的结构综合	155
第二节	推杆活齿传动的尺寸综合	169
第三节	移动副结构尺寸综合实例	176
第四节	典型结构分析	178
第八章	滚柱(钢球)活齿传动	182
第一节	滚柱(钢球)活齿传动的结构综合	182
第二节	滚柱(钢球)活齿传动的尺寸综合	187
第三节	滚柱活齿传动尺寸综合实例	196
第九章	摆动活齿传动	200
第一节	摆动活齿传动的结构综合	200
第二节	摆动活齿传动的齿形综合	203
第三节	尺寸和参数综合	209
第四节	传动性能和典型结构分析	213
第十章	套筒活齿传动	220
第一节	套筒活齿传动的结构综合	220
第二节	基本参数和尺寸综合	225
第三节	传动性能和典型结构分析	227
第十一章	平面钢球传动	231
第一节	平面钢球传动结构分析	231
第二节	平面钢球传动运动学分析	236
第三节	平面钢球传动的齿形综合	241
第四节	平面钢球传动的性能分析	242

第十二章 摆盘式活齿传动	247
第一节 摆盘式活齿传动的组成及传动原理	247
第二节 摆盘式活齿传动的型及运动学	249
第三节 摆盘式活齿传动的齿形综合	253
第四节 基本构件的结构综合	256
第十三章 钢球传动	262
第一节 行星钢球摩擦传动	262
第二节 零隙钢球传动	274
第三节 螺旋钢球传动	285
第十四章 二齿差活齿传动	292
第一节 组成结构及传动原理	292
第二节 二齿差活齿传动运动学	295
第三节 二齿差活齿传动的齿形综合	296
第四节 二齿差活齿传动的传动性能	309
第十五章 旋转活齿传动	313
第一节 组成结构及传动原理	313
第二节 旋转活齿传动运动学	316
第三节 多齿啮合效应及均载机构	321
第四节 传动性能及典型结构	323
结束语	325
参考文献	329

第一章 绪 论

综述国内外活齿少齿差行星齿轮传动（简称活齿传动）的发展概况，分析活齿传动的传动特点和应用，提出活齿传动理论研究的内容和方法，指出活齿传动的发展趋势。

第一节 概 述

应用新技术，开发新型高性能传动元件，以适应工业生产对通用机械传动装置更新换代的需要，是传动机械学领域中的重要研究课题。活齿传动，从一定意义说来，可以认为就是这样一种新型高性能传动元件。

活齿传动是一种用来传递两同轴间回转运动的机械传动，它具有结构紧凑、传动比范围广、承载能力大、传动效率高等优点，所以它一出现就引起科技工作者的广泛注意。

活齿传动最初的结构型式是在30年代由德国人提出来的，到了40年代，他们就把活齿传动技术应用到汽车的转向机构中了。第二次世界大战曾使活齿传动研究一度沉寂下来。50年代，苏联学者对活齿传动的一种型式“柱塞传动”进行了理论研究，提出了它的运动学和力的计算方法。美国学者提出了推杆活齿减速装置及少齿差减速机，分析了传动原理，对传动比和作用力进行了计算，分析了其传动性能。70年代，苏美两国积极开发活齿传动的新型式，苏联推出了“正弦滚珠传动”，美国推出了“无齿齿轮传动技术”，曾引起各国科技工作者的极大兴趣。英国推出的“滑齿减速器”形成了系列产品，并投入国际市场。到了80年代，国际上研究活齿传动更加积极，日本、英国、联邦德国、保加利亚

亚、捷克斯洛伐克等国先后公布了一些有关活齿传动的专利和发明,这表明,活齿传动的研究和应用,在国外已经成为行星齿轮研究中相当活跃的领域。

由于众所周知的原因,我国对活齿传动的研究起步较晚。从70年代起,我国的科技工作者才开始注意国外活齿传动的发展,并在条件简陋、资料及资金缺乏的条件下研究活齿传动技术,经十几年的开拓,在理论研究和产品开发方面都取得不少成绩,先后推出了多种专利技术:变速传动轴承(CN 85 200923U),滚轮传动机构(CN 85 101702A),滚道减速机(CN 86 200768U),密切圆活齿传动,活齿谐波减速机(CN 87 206444U),旋转活齿减速机(CN 87 203751U),套筒活齿少齿差传动装置(CN 87 209455U),摆动活齿减速机(CN 2075729U)等。在这些活齿减速机中,推杆活齿减速机和滚柱(钢球)活齿减速机是最早开发出的典型结构,有的活齿减速机形成了工业生产能力,有的还在国际、国内获奖;活齿传动理论研究方面也取得不少成果,在国内学术刊物上和全国学术会议上发表了几十篇有关活齿传动的学术论文,有的还编入到专著和手册中。活齿传动的实验研究也开始被重视起来,已经有试验报告公布。

本书作者受某厂的委托,从1983年开始研究“在通用机床上加工滚柱活齿减速机中心轮齿形的方法”,随着研究课题的深入,体会到没有成熟的活齿传动基础理论的指导,活齿传动的开发不会得到长足的进步。为此,作者在解决工程实践问题的同时,特别注意对活齿传动普遍理论的研究。先后进行了对于活齿传动结构理论、运动学、齿形理论和啮合理论的探讨,并用这些理论分析了各种典型的活齿传动,逐步地形成了表明作者学术观点的活齿传动的理论体系,从而完成了《活齿传动理论》的著作。

我国活齿传动的研究和开发时间短,技术人员少而且分散,生产经验积累不足,与先进国家相比,在总体上仍有很大差距。我国于1988年和1991年,由机械电子工业部分别提出了《行星齿

轮传动基本术语》和《滚柱活齿减速器》行业标准，今后定将推动我国的活齿传动技术更快的发展。

第二节 活齿传动的特点及应用

我们以典型的推杆活齿传动为例，分析活齿传动的组成结构、工作原理和传动特点。

一、活齿传动的结构及传动原理

我们用图1-1所示推杆活齿传动的结构图和图1-2所示推杆活齿传动的结构模型和传动原理图分析活齿传动的结构和传动原理。活齿传动中围绕中心轴转动或不动的构件称基本构件。推杆活齿传动由三个基本构件组成：

1. 激波器 H 由输入轴1、偏心套2、转臂轴承3和激波环（也可以没有激波环）所组成。为平衡激波器产生的惯性力和抵销激波器上的径向力，常采用双排激波器，并使它们的相位差

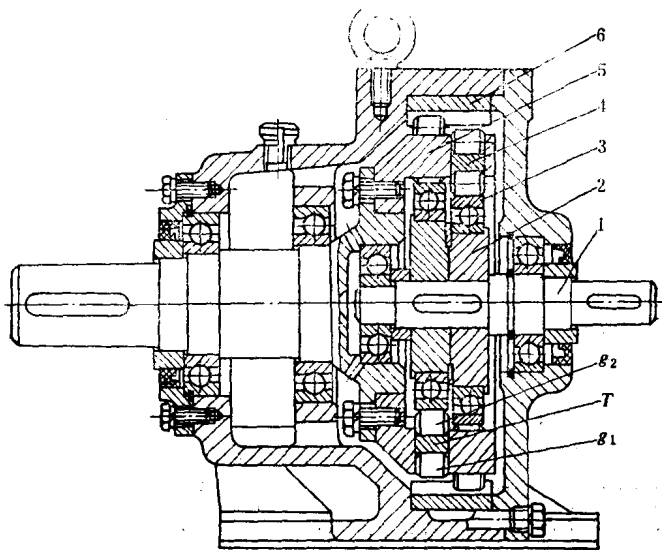


图1-1 推杆活齿传动的结构图

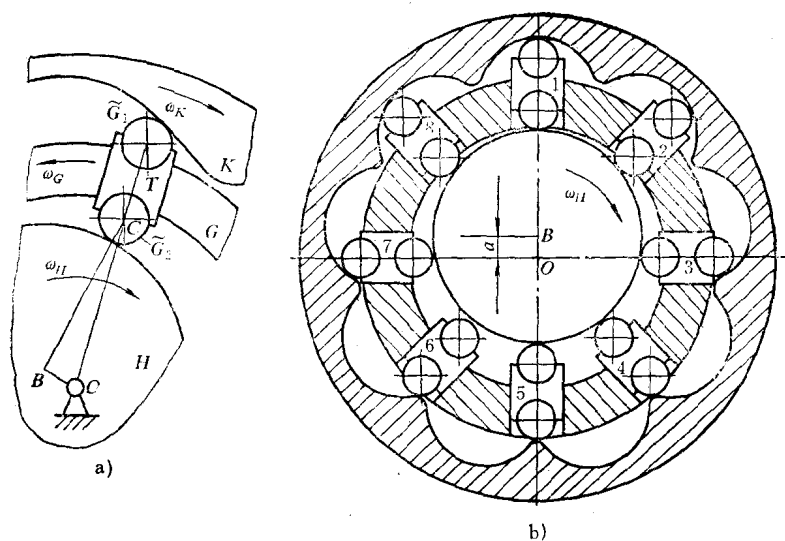


图1-2 推杆活齿传动的结构模型和传动原理图

为 180° 。

2. 活齿轮 G 由活齿架 5 和一组活齿 4 组成。活齿架是一个具有双排等分槽的构件，它常与输出轴固联。活齿由活齿体 T 和内外两端具有副元素 $\widetilde{G}_1$ 、 $\widetilde{G}_2$ 的构件 g_1 和 g_2 所组成。如图 1-2a 所示。具有高副元素的构件常选用标准钢球或短圆柱滚子。

3. 中心轮 K 分内齿中心轮和外齿中心轮两种。内齿中心轮的齿形是活齿外端高副元素 $\widetilde{G}_1$ 的共轭曲线。外齿中心轮的齿形是活齿内端高副元素 $\widetilde{G}_2$ 的共轭曲线。与激波器相对应，采用两个完全相同的平行布置的中心轮。

推杆活齿传动的传动原理：如图 1-2b 所示，当驱动力输入后，输入轴 1 以等角速度 ω_H 顺时针转动，它带动偏心圆激波器，使其几何中心 B 绕固定中心 O 转动，由于偏心圆激波器径向尺寸的变化，激波器产生径向推力，迫使与内齿中心轮齿廓啮合的诸活齿，沿着活齿架均布的径向导槽移动。与此同时，活齿因受活

齿架、中心轮齿廓高副的约束，在沿着内齿中心轮齿廓运动的过程中，推动活齿架以等角速度 ω_0 转动，于是推杆活齿传动实现了定速比的转速变换。在传动的过程中，与内齿中心轮非工作齿廓啮合的诸活齿，在活齿架反推作用下，顺序地返回到活齿的工作起始位置，完成了它的一个工作循环。每一个推杆活齿只能推动从动件转一定的角度，而推杆活齿传动的连续运动，是靠各推杆活齿的接替工作来实现的。

二、活齿传动的特点及应用

由上述活齿传动的结构及传动原理知：活齿传动是一种由K-H-V型少齿差行星齿轮传动演化而成的一种新型齿轮传动，它利用一组中间活动件——活齿来实现两同轴之间的转速变换，突破了长期以来齿轮传动的传统结构特征，改行星齿轮的轮齿与轮体的刚性联接为运动副活动联接，使行星齿轮的全部轮齿成为一组作循环运动的独立运动体，习惯上称它们为活齿。活齿与活齿架组成了活齿轮。改行星齿轮的行星运动为活齿轮绕固定轴线转动，并使诸活齿在活齿架的导向槽中按一定的运动规律运动，以实现行星齿轮作行星运动的功能。活齿传动这一结构特征使其在小偏距平行轴间的转速变换过程中，省去了少齿差行星齿轮传动必须采用的 W 运动输出机构，不但有效地克服了采用 W 运动输出机构给少齿差行星齿轮传动带来的激波器轴承寿命短的问题，而且传动链显著缩短，这给活齿少齿差行星齿轮传动带来了一系列优点。

1. 结构新颖紧凑 活齿传动省去了少齿差行星齿轮传动、摆线针轮传动所必须有的 W 等速运动输出机构，减速运动通过活齿直接由活齿架输出，组成活齿传动的三个基本构件——激波器H、活齿轮G和中心轮K同轴布置，活齿轮G放在中心轮K里面，简化了结构，使传动装置的轴向和径向尺寸都很小，缩小了体积，减轻了重量。

2. 多齿啮合，承载能力高 活齿轮由活齿和活齿架用移动

副或转动副联接组成的结构特点，避免了内啮合齿轮副轮齿间的相互干涉，能使所有的活齿同时和中心轮齿廓接触，最多可以有 $1/2$ 的活齿参加啮合，承载能力高；多齿啮合使活齿传动对冲击负荷有较强的承受能力，一般短期超载能力为名义扭矩的250%。活齿传动共轭齿形的连续接触形式，避免了啮入啮出的冲击，传动平稳无噪声。

3. 传动比大、范围广 活齿传动属于K-H-V型少齿差行星齿轮传动范畴，传动比大，单级传动比为 $8\sim60$ ，双级传动比为 $64\sim3600$ ；二齿差活齿传动和封闭型二级活齿传动等新型活齿传动的相继提出，不但使活齿传动传动比向大、小两个方向扩展，扩大了传动比范围，而且还有多路传动的功能。

4. 传动效率高 活齿传动采用活齿后，使输出机构和活齿轮的分齿部分合成一体，使输入轴到输出轴之间的运动链缩短，减少了动力传递损失；活齿和中心轮、激波器、活齿架之间组成的一个低副和两个高副，由于采用了针齿、套筒活齿、摆动活齿、组合活齿和转臂轴承等结构，使组成运动副的各运动副元素间有较多的相对滚动，啮合效率提高；激波器采用双排结构，并 180° 布置，使惯性力和作用力平衡，使传动轴及轴承的受力减轻，提高了活齿传动的传动效率。活齿传动的传动效率随传动比的增加而降低，传动效率在95%~70%范围内。

5. 基本构件的工艺性 激波器 通常采用偏心圆，工艺性好。但需采用双排结构。如采用椭圆等自平衡结构，单排激波器即可使惯性力、作用力平衡，加工工艺也不复杂，但需采用柔性轴承技术。

中心轮齿形 精确齿形需在数控机床上加工；也可利用通用机床加装展成加工装置加工，但加工硬齿面存在一定困难。采用密切圆、直线等近似齿形，避免了加工特殊齿形的不便，简化了工艺，不需增加专用设备即可批量生产。

活齿轮 对于摆动活齿和套筒活齿，活齿架上的等分柱销孔

是关键工艺；对于推杆活齿和滚柱（钢球）活齿，活齿架上的径向等分槽是关键工艺，显然前者的工艺性好。

由于活齿传动具有上述突出特点，已引起国内外工程界的重视。活齿传动已应用到能源、通信、机床、汽车拖拉机、冶金、造船、矿山、起重运输、化工、建筑工程、农机、医疗器械、仪器仪表、纺织、轻工及食品机械等工业部门中。如用于机床的进给机构、锅炉的除渣机构、选矿场的球磨机、矿山牵引车、钢管输送机、盐厂浓缩设备、啤酒厂发酵槽、汽车转向机构、饼干输送带上等。

活齿电动滚筒：图 1-3 为活齿电动滚筒结构简图。活齿电动滚筒是带式输送机的一种封闭式驱动装置，在活齿电动滚筒的空腔内，带有环形散热片的电动机 5 与活齿减速机的活齿架 3 联成整体，用左法兰 2 和右法兰 7 支承，电机壳体轴 6 和活齿减速机

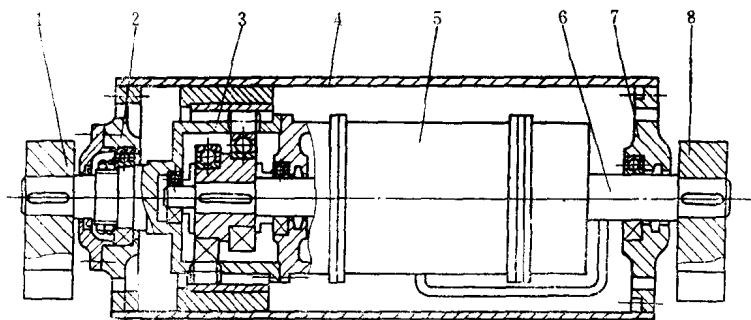


图1-3 活齿电动滚筒结构简图

从动轴固定在滚筒外的支承座 1、8 上，滚筒 4 与活齿减速机的内齿中心轮固联形成输出件。传动原理：电动机主轴带动活齿减速机的激波器高速转动，激波器推动活齿在固定活齿架的径向导槽中径向往复运动，通过活齿与内齿中心轮齿廓的共轲运动，推动内齿中心轮和滚筒一起慢速转动，于是电动滚筒完成了定传动比的转速变换。

活齿减速带轮：图 1-4 所示为活齿减速带轮结构简图。活齿减速带轮是由活齿传动和带传动组合而形成的减速装置。可在带传动外廓尺寸不变或变动不大的前提下使机构的减速比大大增加，并同时具有活齿传动和带传动的优点。传动原理：带轮 3 带动轴 2 高速运转，经活齿传动减速后，由输出法兰盘 4 输出。因整个机构可通过固定法兰 1 直接与工作机构箱壁联接，输出法兰 4 可与需要减速的工作轴形成一体，结构紧凑，在传动比范围、效率、噪声和运行可靠性等方面都是比较理想的。

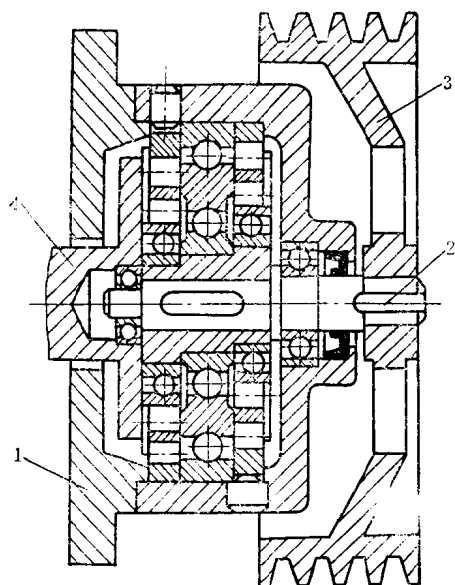


图1-4 活齿减速带轮结构简图

驱动车轮的二级滚柱活齿减速机：图 1-5 为驱动喷灌机行走轮的二级推杆活齿减速机。它由两个一级推杆减速机通过第一级的输出活齿轮与第二级的输入激波器固联所形成，属串联二级活齿传动类型。因为行走轮要求实现低转速 $n_2 = 0.7 \text{ r/min}$ ，所以当

选用电动机转速 $n_1 = 1450 \text{ r/min}$ 时, 则该二级滚柱活齿减速机应实现传动比 $i_{12} = 2070$ 。第一级选用传动比 $i_{IG} = 40$, 第二级选用传动比 $i_{G1} = 52$ 。该二级减速器的特点是: 传动比大、体积小, 减

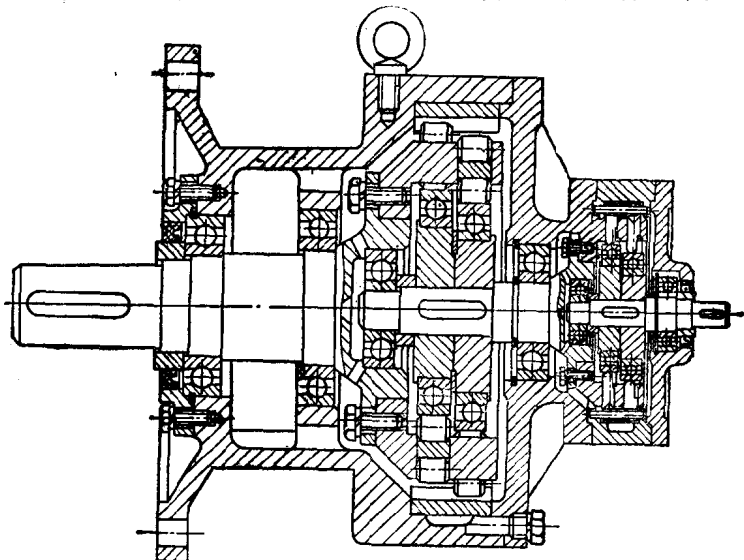


图1-5 驱动车轮的二级推杆活齿减速机

速器输出扭矩由行走轮工作扭矩确定后, 大传比使输入扭矩降低, 电动机的寿命长; 可自锁、单向传动能满足喷灌机爬坡滑移时需要刹车机构的要求; 传动效率高, 是同传动比的蜗杆传动的一倍以上; 行走轮可以单独驱动。

对于驱动中等转速的车轮, 可采用一级推杆减速机。电动机可以直接驱动与高连轴固联的激波器, 活齿轮固联在车体上, 成为固定件。中心轮直接带动车轮转动。特点是整个驱动减速装置结构紧凑。

第三节 本书研究的内容和方法

《活齿传动理论》研究的主要内容包括: