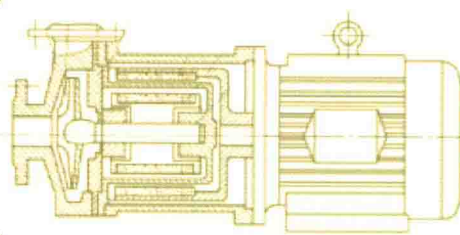


磁力耦合传动 技术及装置的 理论设计与应用

CILI COUPLER CHUANDONG
JISHU JI ZHUANGZHIDE
LILUN SHEJI YU YINGYONG

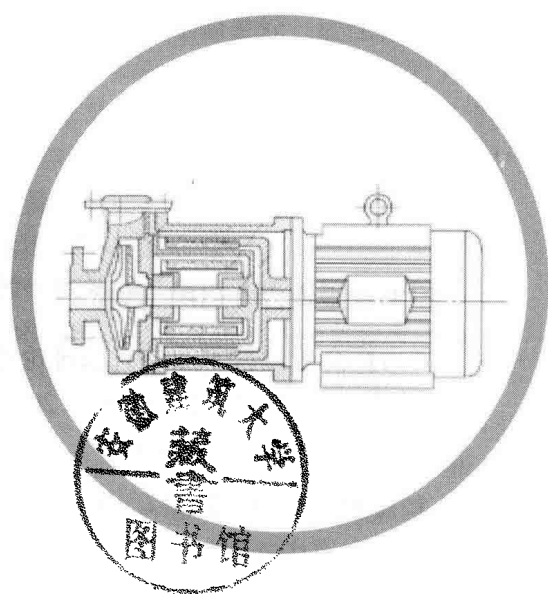
赵克中 著



化学工业出版社

磁力耦合传动 技术及装置的 理论设计与应用

CILI OUHE CHUANDONG
JISHU JI ZHUANGZHI DE
LILUN SHEJI YU YINGYONG



赵克中 著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书阐述了磁力耦合传动技术及装置的基本原理和工程设计；讲述了物质的磁性、磁性材料、磁性材料性能、磁路排列规律和磁场的场形分布；用二维和三维方法分析了永磁体耦合场的力学状态和作用机理、磁耦合场的数值分析方法和计算及其工程应用上的分析和计算方法等内容。书中还阐述了磁力耦合传动装置的结构设计基础和设计技巧，收集了工程应用的部分检测试验数据、图表等，是优化设计的必备参考资料。

本书分为12章。第1、2章为磁力耦合传动技术的基础理论；第3~5章为磁力耦合传动装置的磁路设计、分析、计算，结构设计、分析、计算以及试验研究；第6~8章为磁力耦合传动技术及磁场的理论分析，数理分析，力学分析以及磁场的运动学、动力学分析和计算；第9~12章为磁力耦合传动技术在不同行业、不同设备上的部分应用，通过一些应用实例和经验，概括归纳了设备及装置应用磁力耦合传动技术的设计思路、设计方法及结构设计与分析计算的方法，总结了磁力耦合传动技术在应用方面的设计基础知识。

本书可供机械、石油、化工、制药、火电、矿产、真空、军事工程、航天、核电等行业中从事机械传动、传输与控制技术以及机械设备的工程技术人员、管理人员和相关专业的大专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

磁力耦合传动技术及装置的理论设计与应用/赵克中

著. —北京：化学工业出版社，2018.6

ISBN 978-7-122-31949-4

I. ①磁… II. ①赵… III. ①磁性材料—耦合传动—研究 IV. ①TH132

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 074300 号

责任编辑：戴燕红

文字编辑：陈 喆 刘砚哲

责任校对：边 涛

装帧设计：尹琳琳

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：三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张27½ 字数672千字 2018年9月北京第1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

《磁力驱动技术与设备》一书在2004年出版发行后,得到了广大工程技术人员和相关专业师生,特别是磁应用领域许多工程技术人员、学者及专家的关注和关怀,极大地鼓舞我于2009年完成了《磁耦合传动装置的理论设计与设计》。应部分人员的需求和出版社约稿,将以上两篇书稿略做修改后合编为《磁力耦合传动技术及装置的理论设计与应用》。

近年来,高性能稀土永磁材料稳步发展,加之新型轴承材料及电子、控制技术的迅速发展,磁力耦合传动技术在应用领域得到了广泛的研究和空前的发展。磁力耦合传动技术已由过去简单的模拟应用发展到应用于石油、化工、火电、制药、矿厂、真空、科研、航天等行业里的普通设备以及大型设备和重要传动及传输部位,并且已在军事工程、舰艇船舶以及核电站、核反应堆等领域里逐步应用。磁耦合传动技术已发展成为一种新的传动技术、新装置和新产品,在各个领域里得到了广泛应用。

书中论述了磁力耦合传动技术及装置的基本原理、工程设计及设计的基本思路、基础理论、技术特点、结构形式、运动状态及其应用领域和主要用途;介绍了物质的磁性、磁性材料、磁性材料性能、磁路排列规律和磁场的场形分布;用二维和三维方法分析了永磁体耦合场的力学状态和作用机理、磁耦合场的数值分析方法和计算及其工程应用上的分析方法和计算方法等方面的内容。书中还阐述了磁力耦合传动装置的结构设计基础和设计技巧,特别是通过磁路结构与机械结构设计的组合、配置,设计出单一的或复合的、单向的或双向的、连续的或间歇的各种类型的直线运动、圆周运动、螺旋运动以及几种运动组合的复合运动等多种运动形式的磁耦合传动装置;阐述了磁耦合传动装置整机和零部件的性能特点、受力状态、运动状态以及检测试验与研究;收集了工程应用的部分检测试验数据、图表等,是优化设计的必备参考资料。

全书共4篇,分为12章。第1篇包括第1、2章,阐述磁力耦合传动技术的基础理论;第2篇包括第3~5章,阐述磁力耦合传动装置的磁路设计、分析、计算,结构设计、分析、计算以及试验研究;第3篇包括第6~8章,阐述了磁力耦合传动技术及磁场的理论分析、数理分析、力学分析以及磁场的运动学、动力学分析和计算;第4篇包括第9~12章,阐述了磁力耦合传动技术在不同行业、不同设备上的部分应用,通过一些应用实例和经验,概括归纳了一些设备及装置应用磁力耦合传动技术的设计思路、设计方法及结构设计与分析计算的方法,总结了一些磁力耦合传动技术在应用方面的设计基础知识。本书可供机械、石油、化工、制药、火电、矿产、真空、军事工程、航天、核电等行业中从事机械传动、传输与控制技术以及机械设备的工程技术人员、管理人员和大专院校相关专业的师生参阅。

本书稿得到了东北大学徐成海、李云奇教授的指导;得到东北大学张世伟教授、刘军博士的帮助;航天集团510所杨坚华研究员、兰州理工大学李仁年教授、兰州交通大学蒋兆远教授、东北大学杨乃恒教授、巴德纯教授、谢里杨教授对初稿做了审核工作;得到了李国坤教授、张焰研究员等专家的支持和关注;本单位同事车炯、安芝贤、闫雪兰、李成军、韩爱国、杜海宽、陈雪琴、周健、段武全、王川、杨成仁、赵娜、丁成斌等工程技术人员在成稿过程中帮助做了部分试验工作和资料整理工作,在此向他们一并致以诚挚的谢意。

由于笔者水平有限,不足之处在所难免,恳请同行专家、学者和读者批评指正。

著者

2018.3

第1篇 磁力耦合传动技术基础

第1章 绪论	2
1.1 概述	2
1.2 磁力耦合传动装置的基本结构及运动形式	7
1.3 磁力耦合传动装置的运动特性	10
1.4 磁力耦合传动技术的发展历史和现状	13
第2章 磁力耦合传动技术基础	16
2.1 磁力耦合传动的的基本物理量	16
2.2 磁力耦合传动器用永磁材料的磁特性与物理特性	31
2.3 圆筒形磁力耦合传动器的结构、尺寸代号	32
2.4 磁扭矩计算	32
2.5 磁场计算	35
2.6 转角对扭矩的影响	41
2.7 磁力耦合传动技术中的磁涡流损失	45

第2篇 磁力耦合传动装置的设计与实验

第3章 磁力耦合传动器的设计与计算	52
3.1 磁力耦合传动器设计方法分析	52
3.2 磁力耦合传动器磁路的配置方式	52
3.3 磁力耦合传动器的磁路设计	54
3.4 磁路材料选择	63
3.5 永磁体厚度、工作气隙、极数和永磁体轴向排列的合理匹配	65
3.6 隔离套的设计与计算	66
3.7 磁转子长径比的选择	75
3.8 磁力耦合传动器结构参数的优化设计	76
3.9 影响磁路性能的因素	80
3.10 磁力耦合传动器的静态性能测试	83
3.11 磁力耦合传动器的动态性能测试	88
3.12 磁力耦合传动器的运转特性	94
3.13 磁力耦合传动器损坏原因分析及使用中应注意的问题	98
第4章 磁力耦合传动装置的结构设计与计算	100
4.1 磁力耦合传动装置的结构功能及其控制系统	100
4.2 磁力耦合传动装置结构设计的技术要求	101
4.3 磁力耦合传动装置的特征参数及其相关尺寸	101
4.4 磁力耦合组件的结构设计	102
4.5 磁力耦合传动装置磁路工程设计的思路与方法	118
4.6 两种典型的磁-机械传动方式的实例	124
第5章 磁力耦合传动装置的特性实验与分析	135
5.1 磁力耦合传动装置的静态特性实验与分析	135
5.2 磁力耦合传动装置的动态特性实验与分析	147

5.3	涡流损失实验与分析	155
5.4	振动测试实验与分析	160

第3篇 磁力耦合传动的理论分析与计算

第6章	耦合运动磁场的力学分析	166
6.1	耦合运动磁场的动力学分析	166
6.2	耦合运动磁场的运动学分析	177
6.3	影响耦合磁场运动特性的因素	186
第7章	耦合磁场的有限元分析与理论计算	187
7.1	耦合磁场的有限元分析与建模	187
7.2	耦合磁场的力学2D分析与计算	206
7.3	耦合磁场的力学3D分析与计算	228
第8章	磁力耦合传动装置的运动学分析	242
8.1	磁力耦合传动装置内磁转子振动频率的响应分析	242
8.2	磁力耦合传动装置启动过程分析	243
8.3	磁力耦合传动装置稳定性分析	247
8.4	磁力耦合传动装置的使用与故障诊断	250

第4篇 磁力耦合传动技术的应用

第9章	磁力耦合传动用于离心泵	256
9.1	磁力耦合传动离心泵概论	256
9.2	磁力耦合传动离心泵的设计与计算	265
9.3	磁力耦合传动离心泵的制造与调试	314
9.4	磁力耦合传动离心泵的选用	330
第10章	磁力耦合传动齿轮泵	367
10.1	齿轮泵的工作原理	367
10.2	磁力耦合传动齿轮泵的结构及特点	369
10.3	磁力耦合传动齿轮泵的设计	370
10.4	磁力耦合传动齿轮泵设计应注意的问题	376
10.5	2CY型磁力耦合传动齿轮泵	381
10.6	MCB型磁力耦合传动齿轮泵	382
第11章	磁力耦合传动用于螺杆泵	384
11.1	磁力耦合传动螺杆泵的工作原理及结构	385
11.2	磁力耦合传动技术在螺杆泵上应用的可靠性	386
11.3	磁力耦合传动螺杆泵的设计	386
11.4	3GY-7/52-C型磁力耦合传动三螺杆泵	389
11.5	磁力耦合传动螺杆泵的应用前景	391
第12章	磁力耦合传动技术的其他应用领域	392
12.1	磁力耦合传动技术在真空动密封中的应用	392
12.2	磁力耦合传动技术在搅拌反应釜中的应用	405
12.3	磁力耦合传动技术在全密封阀门中的应用	417
12.4	磁力耦合传动技术在仪表工业中的应用	428

第 1 篇

磁力耦合传动技术基础

第1章 绪论

1.1 概述

磁力耦合传动又称为磁力传动或磁力驱动。它是以现代磁学理论为基础,应用永磁材料或电磁铁的磁力作用,来实现力或扭矩(功率)无接触传递的一种新技术。实现这一技术的装置称为磁力耦合传动器,或称为磁力耦合器、磁力联轴器、磁力耦合传动装置等。磁力耦合传动装置与磁力耦合传动器的主要区别是在磁力耦合传动器的基础上增加了机械装置。

在目前的工业化大生产中,许多过程是在传输、反应、搅拌、加热、冷却、吸收、清洗、扩散、分离等运作下实现的,其输送、通断、控制、变换、调节等功能必须通过一定的传动控制装置来实现。这种传动控制装置应该既能随工作机件正常运转、自动调节位置和实现控制等功能,又能满足运转灵活、控制自如、全密封、不泄漏、不扩散等技术要求。这样的传动控制装置如果能在现代化工业生产设备上得到应用,必将带来明显的经济效益。此外,在机械传动中还有一些传动装置,如样品传递的输入与取出、载荷位移与运动以及一些高精度的力和扭矩的传递,在其传递过程中使传输结构可实现主、从动件分离并使运动方向或运动状态在同步或不同步条件下完成其各自的运动轨迹等方面的要求,对于这些具有特殊要求的传动形式,如果采用磁力耦合传动与机械传动相结合的综合传动方式取代单纯和复杂的机械传动形式,不仅可以简化传动装置,而且还可以提高装置运行的可靠性和传动效率。这里阐述的磁力耦合传动装置是一种完全可以实现上述要求的磁力耦合传动与机械传动相结合,并且在一定程度上还可以实现运动过程自动控制的一种全新的技术。

(1) 磁力耦合传动技术的应用特点

①可将轴传递动力的动密封转化为静密封,实现动力的零泄漏传递。磁力耦合传动传递力或扭矩,是利用磁场力作用特性而实现的。磁力耦合传动并不需要两个永磁件相对接触或连接,因此,当主动件旋转时,在磁场力的作用下即可实现从动件同时进行旋转,而工作容器内外之间并不需要主动轴(或传动杆)穿过容器壁来达到工作目的,从而可实现动力传递过程的静密封状态,彻底做到零泄漏。

②可避免振动传递,实现工作机械的平稳运行。主动件与从动件相互间无接触,不存在刚性连接问题,主动件发生突变或振动时都不会直接传递到从动件上,从动件发生突变或振动时同样也不会影响主动件的工作状态,从而可避免振动或突变的传递,实现工作机械的平稳运行。

③可实现工作机械运行中的过载保护。在主动件与从动件无刚性连接的条件下,设计时可适当增加工作扭矩以增加安全运动感,但当从动件负载突然增加,超载过大时,两件之间可产生滑脱而结束扭矩的传递,从而避免了从动件在不能正常工作时(如主动轴抱死、扫膛等)容易被损坏的危险,同时也对电动机起到了保护作用。

④与刚性联轴器相比较,安装、拆卸、调试、维修均较方便。磁力耦合传动装置在结构上较为简便,主动件与从动件之间存在间隙,易于安装、拆卸和维修,既可减小设备维修的难度和劳动强度,又可提高设备的工作效率。

⑤磁力耦合传动传递动力的运动方式。磁力耦合传动传递动力时可做直线运动、旋转运动以及直线运动与旋转运动相结合的螺旋式复合运动;磁力耦合传动与不同机械结构设计相结合,可实现三维空间的有序运动、其他一些不同方式的运动或一定距离的位移及旋转任意角度的定向运动。

⑥可净化环境,消除污染,实现文明生产。环境保护是我国实现经济可持续发展的一项基本国策,在石油、化工、制药、海上油井作业、有色金属冶炼、湿法选矿、食品等行业的生产流程中,应用磁力耦合传动技术研制而成的泵可完全避免有毒、有害、易燃、易爆、强酸、强碱等腐蚀性介质的泄漏,既保护了操作者的安全,又防止了对环境的污染。

(2) 磁力耦合传动技术在应用中存在的问题

①磁场的存在可干扰周围环境。磁场在某一空间的存在干扰了周围环境,使某些应避免磁场干扰的仪器与设备的使用受到了限制。

②磁力耦合传动器在启动过程中易产生滞后。在启动运转过程中,主动磁转子的磁转角与从动磁转子的磁转角存在着转角差并随时间变化而变化;在正常运转中,负载扭矩变化时磁场力扭矩也同样发生变化,从而可导致主、从动件之间产生错动。因此,磁力耦合传动器在要求精确的设备使用上受到了限制。

③磁力耦合传动器与接触式密封装置相比较,效率相对降低。这主要是因为采用金属材料作为隔离套,由于金属隔离套处于正弦交变磁场中,该磁场不但大小变化而且方向也发生变化,导致金属材料隔离套中在垂直于磁力线方向的截面上感应出涡流电流。这种涡流的产生,既能减弱工作磁场,降低传递扭矩,又能产生涡流损失并以焦耳热的形式释放出能量,从而消耗了主轴的一部分传递功率,降低了传递效率。

(3) 磁力耦合传动装置的特点

磁力耦合传动装置除了具有常规的磁力耦合传动器所具有的可转化轴传递动力的动密封为静密封,实现工作平稳运行,避免振动传递,实现工作装置在运行中的过载保护,与刚性联轴器相比较易于安装调试、拆卸维修、净化环境、消除污染、实现文明生产等一系列特点外,它还具有传递动力方式较多、结构功能齐全等特点。

①把磁力耦合传动技术从简单的二维平面圆周运动变为四维空间螺旋式复合运动,很好地解决了最大转角与转动范围的控制技术,把复杂的螺旋式复合运动定域在有效空间。

②将磁路设计和机械结构设计有机结合成运动的整体,完成复杂的运动轨迹;突破了传动系统传统机械联动机制,很好地实现了动态下的静密封。

螺旋运动是在三维空间运行的,可以说它是在平面圆周运动的基础上叠加了轴向推进位移和时间因素,同时解决了转角与推进位移(二者皆为时间的函数)的数量关系;解决了转动力矩与轴向推进作用的矢量关系。

③把磁极的紧密型排列、对称性排列和非对称性排列进行合理配置,使耦合的两组分离部件做彼此相关、同步和不同步的双向异型相对运动。

④为任意条件和任意状态的运行摸索出普遍适用的规律。

(4) 磁力耦合传动器的分类

磁力耦合传动器依据其不同的分类方法,有如下几种。

①依据磁力耦合传动器耦合原理 可分为同步式、涡流式和磁滞式三种。

a. 若设主动件转速为 n_1 , 从动件转速为 n_2 , 传递的扭矩为 T 时, 可传递的最大扭矩为 $T_{\max}$, 永磁体的内禀矫顽力为 jH_{c1} , 在主、从动两部件中均采用永磁体, 两部件中的矫顽力均相等而又足够大时, 在 $n_1 = n_2$, $T < T_{\max}$ 的条件下, 则称磁力耦合传动器为同步式。

b. 若主、从动两部件, 主动件为导体, 且电导率 σ 不等于零时, 从动件为永磁体, 此时称磁力耦合传动器为涡流式。

c. 若主动件为磁滞材料, 内禀矫顽力为 jH_{c1} , 从动件为永磁体, 内禀矫顽力为 jH_{c2} 时, $jH_{c1} > jH_{c2}$; $T < T_{\max}$, $n_1 = n_2$ 时, 则无能量损失 (磁滞损失), 此时磁力耦合传动器被称为磁滞式。

②依据磁力耦合传动器传递运动的方式 可分为直线运动、旋转运动、复合运动以及其他一些特殊运动等。

a. 直线运动式磁力耦合传动器。其结构示意图如图 1-1 所示。当主动件做直线运动时, 从动件也做直线运动。主动件为环状设置在隔离套外侧, 通常由外磁体、磁屏蔽、外罩、传动件等零件组成。从动件也是环形, 由内磁体、隔离套、磁回路、紧固件、传动件等零件所组成。

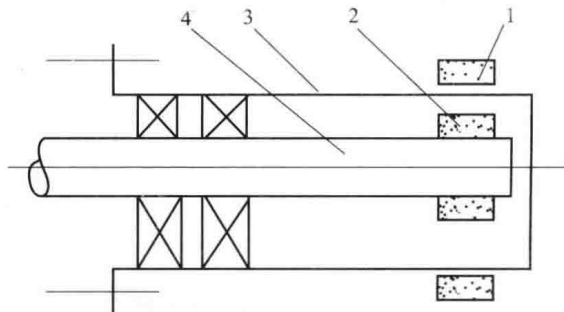


图 1-1 直线运动式磁力耦合传动器结构示意图

1—外磁体; 2—内磁体; 3—隔离套; 4—传动件

b. 旋转运动式磁力耦合传动器。其结构如图 1-2 所示。当外磁转子 3 通过电动机做旋转运动时, 内磁转子 7 也随之做旋转运动, 这种磁力耦合传动器的主动件与从动件均由转轴、永磁体、隔离套、磁回路、轴承、轴承座等部件所组成。

c. 复合运动式磁力耦合传动器。其结构较复杂, 但外形基本上与直线运动式磁力耦合传动器接近。复合运动式磁力耦合传动器主动件做直线加旋转的复合运动时, 从动件同时也随之做复合运动。

采用永磁体进行复合式驱动的磁力耦合传动器, 如图 1-3 所示。这种结构既能分别传递直线运动和转动, 又能传递两种运动组合的运动, 如螺旋运动、装卡运动, 其结构及磁极的排列要比单一运动的磁力耦合传动装置复杂些, 外形与直线传动机构相近。因为外磁极既要推动内磁极做直线运动又要做转动运动, 而且传动杆仍然要在滚珠轴承导轨上做直线

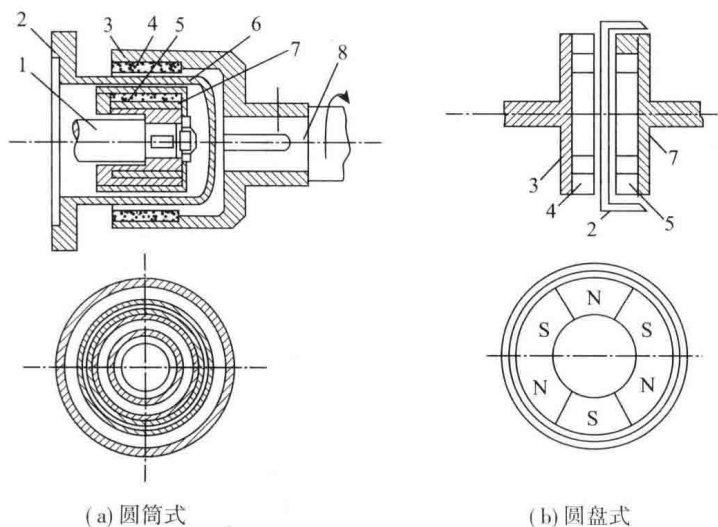


图 1-2 旋转运动式磁力耦合传动器结构示意图

1—从动轴；2—隔离套；3—外磁转子；4—外磁转子用永磁体；
5—内磁转子用永磁体；6—工作气隙；7—内磁转子；8—主动轴

运动，所以应在传动杆中心装一转轴来完成转动动作。样品托可以固定在转轴的一端，在转动时随转轴一起旋转，传动杆不动；直线运动时，则和转轴一起随传动杆移动。传动杆可用滚轮调节其运动中心线和管道中心线的同轴度和平行度，导轨架同法兰做成一体，便于整体拆装。密封管一端焊在法兰上，密封管外装有一根标尺，可以显示移动距离，外磁极上装有防尘垫和转角限位器，不需要转动时，限位器夹住标尺，外磁极就不会转动，如果限位器上有角度刻度，就可以测量转角的大小；将限位器松开，磁极可以任意旋转角度，如果标尺上装有定位夹，也可以固定传动杆往复运动的行程。密封管的另一端焊有堵头，堵头上可装支架，托住密封管，避免密封管成为悬臂梁。

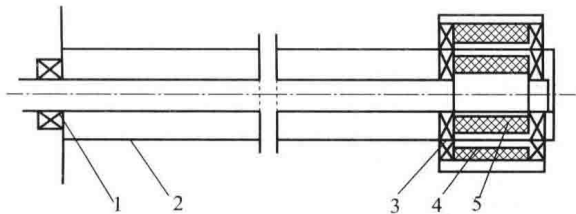


图 1-3 复合运动式磁力耦合传动装置结构示意图

1—滚动轴承；2—筒状隔离密封套；3—外滚动轴承；4—外磁转子；5—内磁转子

d. 传递特殊运动的磁力耦合传动器。也可采用电磁场与永磁磁场相结合的方法来实现。这种结构可以将传递往复运动转变为传递间歇的旋转运动。

如图 1-4 所示。图中 (a) 是把螺管线圈传动置于密封容器内的部件 1 上，可通过棘轮机构用以保证棘轮 2 做间歇式的旋转运动。图中 (b) 是当电磁铁 5 吸引电枢 6 时，通过杠杆 3 和棘爪，使棘轮 4 转动一个角度，即可把电枢 6 的往复运动转变为旋转运动。

当需要向密封容器内传递周期性摆动时可采用图 1-5 所示的结构。这种磁联摆动式结构把电磁线圈置于大气中，与摆动件 2 是通过隔离套实现的。

③依据磁力耦合传动器的结构形式 可分为圆筒式和圆盘式两种形式。

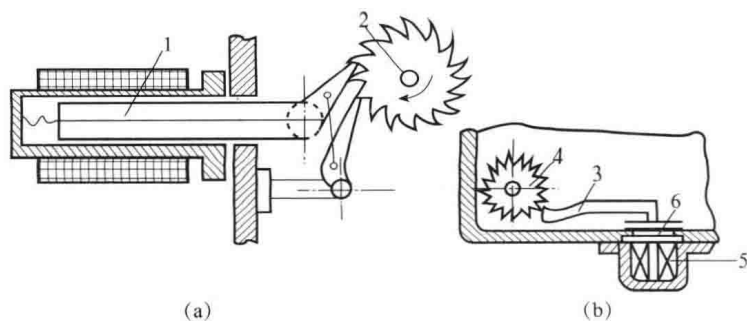


图 1-4 用电磁力变往复运动为间歇旋转运动的密封结构示意图

1—传动杆；2，4—棘轮；3—杠杆；5—电磁铁；6—电柜

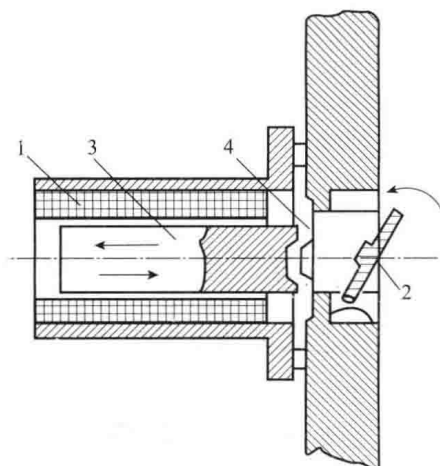


图 1-5 磁联摆动式密封结构

1—电磁线圈；2—摆动件；3—铁芯；4—密封板

④依据永磁体的布局方式 可分为间隙分散式和组合拉推式两种。

a. 间隙分散式磁力耦合传动器 永磁体的排列形式如图 1-6 所示。排列时永磁体与永磁体之间相隔一定距离以避免两个永磁体之间相互作用的磁场短路或同极磁场的作用而引起退磁。

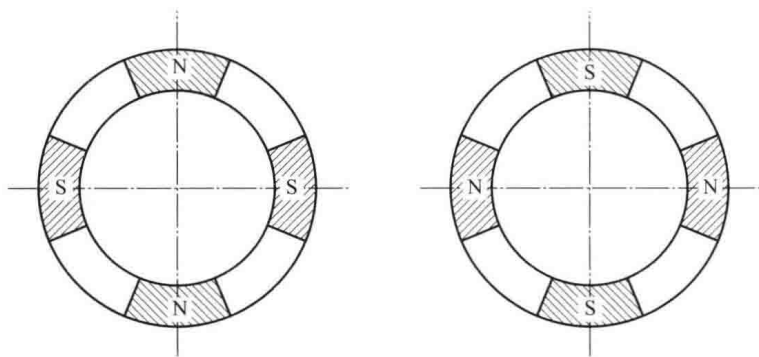


图 1-6 间隙分散式磁力耦合传动器永磁体的排列形式

b. 组合拉推式磁力耦合传动器 永磁体的排列形式如图 1-7 所示。其是由具有高矫顽力的永磁体相互间进行紧密排列而组成的。其主要特点是磁场聚集、传递扭矩大、相对体积小，是目前磁力耦合传动器中最常采用的一种新型的磁路排列方式。

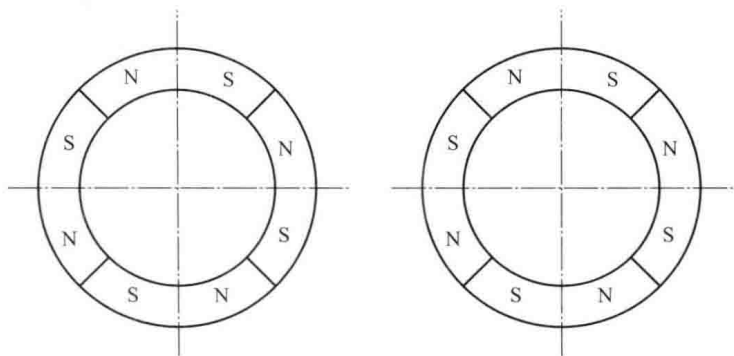


图 1-7 组合拉推式磁力耦合传动器永磁体的排列形式

1.2 磁力耦合传动装置的基本结构及运动形式

磁力耦合传动装置属于机械传动系统，其基本结构如图 1-8 所示，主要由三个部分组成。

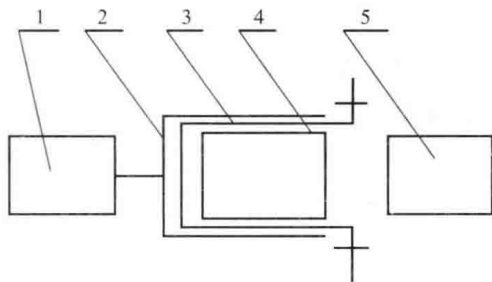


图 1-8 磁力耦合传动装置的基本结构示意图

1—动力机；2—主动磁组件；3—隔离套；4—从动磁组件；5—负载

①与主动磁场和从动磁场相结合的机械分别构成主动磁机械运动部件和从动磁机械运动部件，还有与运动状态相配套的导向装置等；

②主、从动磁运动部件之间的工作气隙中设置了隔离套部件，包括隔离套工作状态（如温度等）的测试装置及导向装置等；

③运动的动力装置及控制系统，其运动系统如图 1-9 所示。

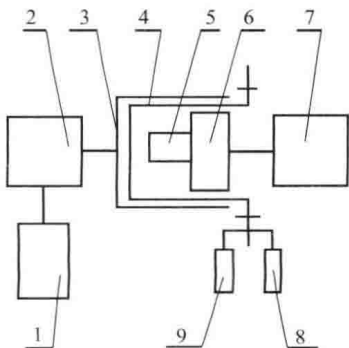


图 1-9 磁力耦合传动装置的运动系统示意图

1—动力控制系统；2—动力机；3—主动磁组件；4—隔离套；5—负载传动及导向装置；

6—从动磁组件；7—负载装置；8—运动状态检测器；9—温度检测装置

它的程序是：动力控制系统控制动力机工作，根据运行要求，动力机工作转速可调，工作转向可变换，动力机带动主动磁组件运行工作后，主、从动磁组件磁场透过隔离套 4 的器壁相互耦合，当主动磁组件 3 进行运动时，从动磁组件 6 由于磁场作用开始运动；从动磁组件带动和控制负载传动及导向装置 5 正常运行，件 5 工作时拖动传动杆及负载按程序进行工作，运动状态检测器 8 主要检测从动磁组件及件 5、件 7 的工作运行状态；温度检测装置 9 主要检测隔离套及内部温度状态；隔离套 4 除具备密封隔离的作用外，还对主、从动磁组件具有定位、支撑以及控制从动磁组件定向运动的作用。

从磁力耦合传动装置的结构和应用功能来看，其运动形式大致可分为以下几种：

(1) 主、从动磁组件做同步旋转运动

如图 1-8 所示。此类运动形式的结构属于基本类型，其应用非常广泛，普遍应用于磁传动泵、磁传动搅拌反应釜、高速转动机械等设备上。当主动磁组件被动力机带动做旋转运动时，从动磁组件在耦合磁场的作用下跟随主动磁组件同步旋转，同时由于耦合磁场的作用，从动件的运动状态完全受主动件运动状态的牵动和制约。

(2) 主、从动磁组件做同步直线运动

如图 1-10 所示。当主动磁组件 1 做直线运动时，从动磁组件 2 跟随件 1 做直线运动。主动磁组件 1 为环状，设置在隔离套外侧，通常由外磁体、磁屏蔽体、外罩、传动支撑部件等零部件所组成。从动件也是环状，由内磁体、内隔离罩、磁屏蔽体、紧固件、传动支撑件等零部件所组成。

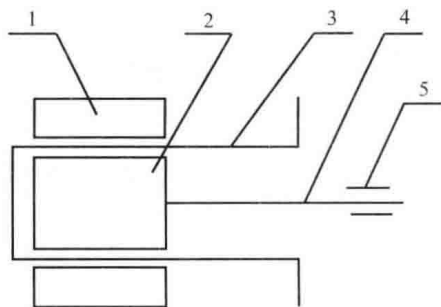


图 1-10 主、从动磁组件做同步直线运动磁力耦合传动装置示意

1—主动磁组件；2—从动磁组件；3—隔离套；4—传动杆；5—滑动组件

(3) 主、从动磁组件做同步螺旋运动

由于螺旋运动是平面圆周运动与圆周平面垂直方向上的直线运动相结合的复合运动，所以它较前两种单一运动形式的磁力耦合传动装置复杂得多，从磁路排布上完成了复合运动磁场的叠加，使得彼此叠加的多个场的作用力有序化从而实现复杂运动。如图 1-11 所示。

这种磁力耦合传动装置的外形与直线同步运动装置相接近。螺旋式复合运动装置的主动件做螺旋式旋转复合运动时，从动磁组件同时也随之做相同的复合运动，其主、从动件的运动轨迹是相同的。这种结构还可以分别完成旋转运动、直线运动或直线运动与旋转运动相结合的复合运动。

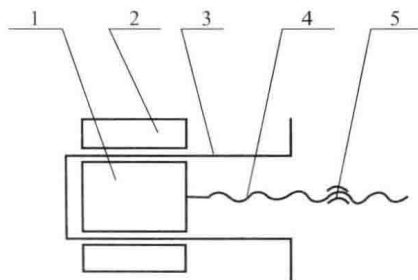


图 1-11 主、从动磁组件做同步螺旋运动磁力耦合传动装置示意

1—内转子；2—外转子；3—隔离套；4—传动螺杆；5—导向件

(4) 主动磁组件做旋转运动，从动磁组件的传动杆做直线运动

这种形式是主、从动磁组件做不同状态运动的组合形式，主动磁组件做旋转运动是二维的，即平面圆周运动，从动磁组件的传动杆在主动磁组件运动平面的轴线方向上做轴向平动，它的运动是一维的。系统整体的运动是二维的。以磁力耦合传动控制齿轮变换系统为例，其结构如图 1-12 所示。

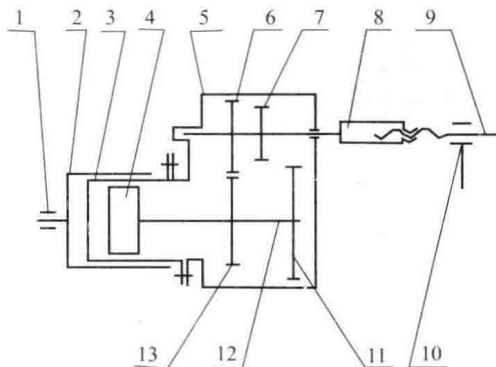


图 1-12 磁力耦合传动控制齿轮变换系统结构示意图

1—滑动副；2—主动磁力耦合组件；3—隔离套；4—从动磁力耦合组件；5—箱体；
6—从动大齿轮；7—从动小齿轮；8—齿轮轴；9—传动杆；10—导向装置；
11—主动大齿轮；12—从动耦合组件传动轴；13—主动小齿轮

主动磁力耦合组件 2 做旋转运动，速度是通过齿轮传动比的改变来调节的，齿轮变换是由从动磁力耦合组件做轴向位移进行调节的，传动的导向作用原理是齿轮轴为空心轴，内孔中带螺纹，由螺杆带动传动杆，加之导向装置输出直线运动形式。传动杆直线运动位移的距离、位置是由螺杆控制的，螺杆的长度和导程是根据技术要求设计确定的。这样，主、从动磁力耦合传动装置就具有直线运动和旋转运动的功能。当需要变换齿轮进行调速时，主动磁力耦合组件及动力传动轴做直线往复位移，从动磁力耦合传动组件随着主动磁力耦合传动组件做同步运行，使啮合齿轮组变换，再做旋转运动达到调速的目的。主、从动磁力耦合的磁路排列为径向轴向组合排列。

图 1-13 和图 1-14 所示装置也属此类运动形式。图 1-13 中，传动轴 1 带动螺旋套 4 做旋转运动，主动磁组件 3 与从动磁组件 5 耦合，传动杆 6 与从动磁组件 5 连接，由于导向装置 7 的作用，传动杆 6 做直线运动。图 1-14 中，传动轴 1 带动导向槽旋转套 4 做旋转运动，主动磁组件 3 跟随导向槽旋转套 4 做旋转运动，从动磁组件 5 在传动螺杆 6 的作用下做螺旋

运动,而传动杆7在导向装置8的作用下输出直线运动,由于主、从动磁组件相互耦合,主动磁组件在做旋转运动的同时于导向槽中做直线滑移运动。

诸如此类运动形式,可根据复合方式的不同而组合成多种类型。既可以是单一运动又可以是复合运动,既可以是同步运动也可以是异步运动,既可以是连续运动又可以是断续或间歇的运动。

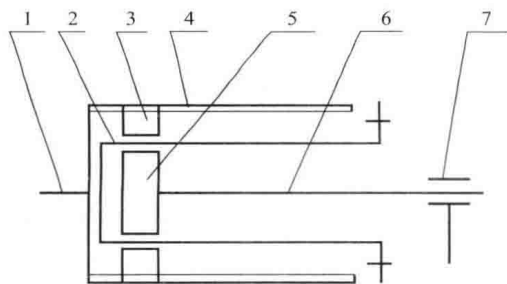


图 1-13 螺旋套磁力耦合传动装置结构示意图

1—传动轴；2—隔离套；3—主动磁组件；4—螺旋套；5—从动磁组件；6—传动杆；7—导向装置

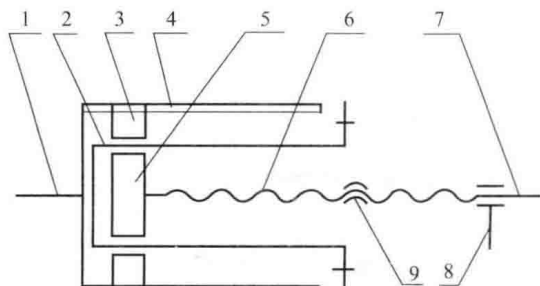


图 1-14 旋转与直线复合运动结构示意图

1—传动轴；2—隔离套；3—主动磁组件；4—导向槽旋转套；5—从动磁组件；
6—传动螺杆；7—传动杆；8—导向装置；9—螺旋副

(5) 主、从动磁组件分别做旋转运动与螺旋运动

当主动磁组件做旋转运动时,从动磁组件与传动杆沿着主动磁组件旋转的轴线做螺旋运动。这种运动装置与(3)中所述运动装置有所不同。本装置是短距离行程,而(3)中的装置是远距离行程,并且(3)是同步的,而本结构主、从动组件运动的轨迹是不同步的,称为异型运动。

以上几种运动形式是磁力耦合传动装置的基本运动形式,通过上述多种运动形式的组合设计,还可设计出满足多种用途的不同形式的运动,例如,主动磁组件做旋转运动,从动磁组件与传动杆先做螺旋运动到一定距离后再做直线运动;主动磁组件做旋转运动,从动磁组件先做直线运动到一定距离后再做旋转运动或螺旋运动。另外,随着对磁力耦合传动装置更加深入的研究,其输入和输出的运动形式将会派生出更多种类的装置组合类型,以满足现代工业中许多特殊场合复杂机械传动的需要。

1.3 磁力耦合传动装置的运动特性

磁力耦合传动装置的运动特性是指它的稳定性、分离性和可靠性。

1.3.1 磁力耦合传动装置的稳定性

磁力耦合传动装置具有良好的稳定性。这是由于主、从动磁组件相互间无接触，不存在刚性连接。当主动件或从动件发生突变或振动时，由于主、从动件间不直接传递运动，因此可完全避免振动或突变的传递，实现装置的平稳运行。其具体表现为：

(1) 机械特性

磁力耦合传动装置做旋转运动时，由于是恒扭矩传动，正常运动时，主、从动磁组件是同步的，即转速相同 ($n_1 = n_2$)。机械特性通常由输出特性来表征，是恒定不变的。

(2) 传动的透穿性

传动系统的输入扭矩 T_1 随其输出扭矩 T_2 变化而变化的性质称为传动的透穿性，如果 T_2 变化时 T_1 保持恒定不变，则此传动系统具有非透穿性，或称该系统具有不可透穿性。磁力耦合传动装置属恒扭矩传递运动，是绝对非透穿系统。

(3) 输出刚度和自动适应性

传动系统的输出转速 n_2 随输出扭矩 T_2 变化的程度在技术上称为输出刚度，用 K 表示：

$$K = -\frac{dT_2}{dn_2}$$

显然，输出刚度 K 是输出特性曲线 $n_2 - T_2$ 在某一工况点处斜率的负值，一般情况下，它是随工况点的不同而变化的， K 值大，输出特性硬， K 值小，输出特性软，如图 1-15 所示（图中 C 为常数）。

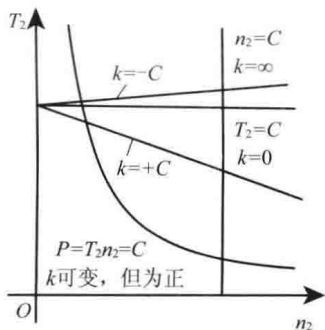


图 1-15 磁力耦合传动装置的输出特性曲线

从图中曲线可见，当扭矩恒定时 ($T_2 = C$)，输出特性的 $K = 0$ ，具有最硬的输出特性，而在功率恒定时（曲线为等腰双曲线， $T_2 n_2 = C$ ），输出特性具有可变化的输出刚度，即在低转速区具有硬的输出特性，而在高转速区具有软的输出特性，可见，磁力耦合传动装置是一种具有可变化输出刚度的装置。

由于某种意外因素的影响，转速调整，输出扭矩与载荷自动调节达到适应的特性称为传动系统的自动适应性，具有恒定功率输出特性的传动装置在许多工况下都有着非常理想的自动适应性。磁力耦合传动系统为软连接方式，具有恒定功率输出特性，是较为理想的