

三相异步电动机经济运行手册

刘学志 唐 忠 陈景林 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

三相异步电动机经济运行手册

刘学志 唐 忠 陈景林 编著

中国科学技术出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书叙述了三相异步电动机经济运行的各种调速方法及国家公布推广使用的三相异步电动机节能调速及启动、控制装置；给出了中小型三相异步电动机和工矿企业用配电变压器在低于最低经济负载率下运行时，浪费电量的计算数据及相应的替代容量。

(京)新登字175号

三相异步电动机经济运行手册

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路32号 邮政编码：100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

涑水县东风印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13 字数：329.6千字

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

ISBN7-5046-1176-X/TP·48

印数：1—5000册 定价：9.00元

序

党的十四大确定90年代我国经济要以较高的速度发展，以实现人民生活进入小康的目标；到下个世纪中叶，基本实现社会主义现代化的战略任务。这项任务是豪迈的，也是十分艰巨的。

能源是一切社会发展的重要物质基础，也是我国经济高速发展的重要制约因素。考虑到我国能源资源人均占有量很少，建设资金又很紧缺，中央于1980年就制定了“开发与节约并重，近期把节约放在优先地位”的能源方针，实践证明这是十分正确的。

电力是一种高效、清洁、方便的能源，在多种能源形式中，人们总是尽可能选择使用电力，这是科学的选择。过去，我国电力供应长期紧张，今后，这种紧张局面还将持续一段相当长的时间，所以，我们必需十分重视节电工作，采取切实措施，推进节电工作。

三相异步电动机经济运行是节电的重要措施，为此，国家主管部门专门颁布了GB12497—90《三相异步电动机经济运行》国家标准，为了促进这项国家标准的实施，济南市政府节约能源办公室组织多年从事基层节能工作的工程技术人员，编写了《三相异步电动机经济运行手册》。书中给出了三相异步电动机在低于经济运行区的最低负载率运行时浪费电能的数据及电算程序，还给出替代电动机的容量；也介绍了多种经济运行的调速方法和节电用的调速与启动、控制装置，供读者选用；书中还给出了配电变压器在经济运行区最低负载率以下运行时浪费电能的数据和替代变压器的容量。这是一本推动全国节电工作不可多得的工具书，相信在她的帮助下，全国节电工作必将取得更大的成绩。

苗天杰 岳鹿群

1993年5月

前 言

为了更好地实施GB12497-90《三相异步电动机经济运行》这项国家标准，促进全国节电工作的发展，在《中国能源》编辑部的帮助下，我们编写了这本工具书。旨在为从事节电管理、设计、技改、运行和施工单位的各类人员提供方便。

三相异步电动机的经济运行，就是在满足被拖动机械正常运行的前题下，合理地选择电动机的类型，合理的功率匹配，选择经济合理的调速运行方式等。我们针对长期在低于经济运行区的最低负载率下运行的三相异步电动机进行了浪费功率和年浪费电量的计算，书中给出相应的数据和电算程序，并给出应选替代电机的额定功率；对三相异步电动机的各种调速方法书中均作了介绍，并且选录了国家公布推广使用的部分节能调速及启动、控制装置；我们也进行了配电变压器在低于经济运行区的最低负载率下运行时年浪费电量的计算，书中给出了相关数据和应选替代变压器的容量。

国家计委资源节约和综合利用司副司长、中国节能协会前理事长苗天杰同志和国家能源部节能司副司长、全国节电办公室副主任岳鹿群同志联合为本书写了序言；国家计委节能专家、教授级高级工程师杨美才同志主审了书稿，补充了部分内容；国家计委·中科院能源研究所尹崇义同志审阅了全稿，补充了部分内容，提出了有益的建议；在编写过程中李守顺同志给予了许多帮助；还得到济南市节约能源办公室张树航、郭方二位主任的大力支持，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，时间仓促，错误与疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1993年5月

目 录

第一章 鼠笼式异步电动机经济运行的调速	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 鼠笼式异步电动机的运行特性	(1)
第三节 变频调速	(2)
第四节 变极对数调速	(3)
第五节 调压调速	(4)
第二章 绕线式异步电动机经济运行的调速	(5)
第一节 概述	(5)
第二节 绕线式异步电动机的调速方法	(5)
第三章 电动机经济运行的机械调速装置	(7)
第一节 概述	(7)
第二节 电磁离合器	(7)
第三节 液力偶合器	(8)
第四节 调速离合器	(9)
第五节 磁粉偶合器	(10)
附：国家公布推广使用的部分异步电动机调速及启动、控制装置	(12)
第四章 电动机的磁性槽泥节能改造	(15)
第一节 概述	(15)
第二节 磁性槽泥	(15)
第三节 磁性槽泥的使用	(16)
第四节 电动机改造前后的测试	(16)
第五节 电动机改造后的验收	(17)
第五章 低负载率电动机浪费电量的计算	(18)
JO ₂ 系列 2 极电动机 D表 1—13	(19)
JO ₂ 系列 4 极电动机 D表 14—26	(32)
JO ₂ 系列 6 极电动机 D表 27—38	(45)
JO ₂ 系列 8 极电动机 D表 39—49	(57)
Y 系列 2 极电动机 D表 50—63	(68)
Y 系列 4 极电动机 D表 64—77	(82)
Y 系列 6 极电动机 D表 78—89	(96)
Y 系列 8 极电动机 D表 90—100	(108)
附：低负载率电动机浪费电量的电算程序	(119)
第六章 低负载率配电变压器浪费电量的计算 B表 1—53	(122)
附录	
1. GB12497-90《三相异步电动机经济运行》	(176)
2. GB8916-88《三相异步电动机负载率现场测试方法》	(196)

第一章 鼠笼式异步电动机经济运行的调速

第一节 概 述

鼠笼式异步电动机由于其结构简单、运行可靠、维修方便、价格低廉等优点,在我国工农业生产中的应用是非常普遍的。但是,鼠笼式异步电动机与直流电动机相比其转速难以调控,往往不能满足需要多速运行的场合。而易于调速的直流电动机却有运行时产生火花、易磨损、原材料消耗较多、价格较高、维修麻烦等缺点,所以,长期以来,人们对鼠笼式异步电动机的调速进行了大量研究,并取得了有效的进展。加上鼠笼式异步电动机固有的诸多优点,使鼠笼式异步电动机的调速运行受到了越来越广泛的重视和应用。

目前,国内外在鼠笼式异步电动机调速方面取得了许多优秀的成果,有的已形成系列产品,使鼠笼式异步电动机调速系统的投资从节能效益中很快就能回收。

鼠笼式异步电动机经济运行的调速,一般适用于被拖动设备对速度要求不太严格的场合。

第二节 鼠笼式异步电动机的运行特性

鼠笼式异步电动机的工作原理是,当定子绕组通电以后,在定子空间上产生一旋转磁场,转子在旋转磁场中产生感应电磁转矩而拖动负载。由于本书的目的是电动机的经济运行,所以,在这里只介绍有关鼠笼式异步电动机调速的结论性公式或概念,具体分析推导过程请参阅有关电动机的专业书籍。

当鼠笼式异步电动机的三相定子绕组与工频电网接通后,定子铁芯中就会产生与电网相序相同、频率相同的旋转磁场,该旋转磁场在铁芯中产生的主磁通用 Φ_m 表示; Φ_m 的转速称为同步转速,以 n_0 表示, n_0 计算公式如下:

$$n_0 = \frac{60f_1}{P} \quad [r\ pm] \quad (1-1)$$

式中: f_1 为电源频率, P 为旋转磁场极对数。

转子转速 n 的计算公式为:

$$n = n_0(1-s) = \frac{60(f_1 - f_2)}{P} \quad (1-2)$$

其中: s 为转差率,亦称滑差率,其计算公式为转子电频率 f_2 与电源频率 f_1 之比。

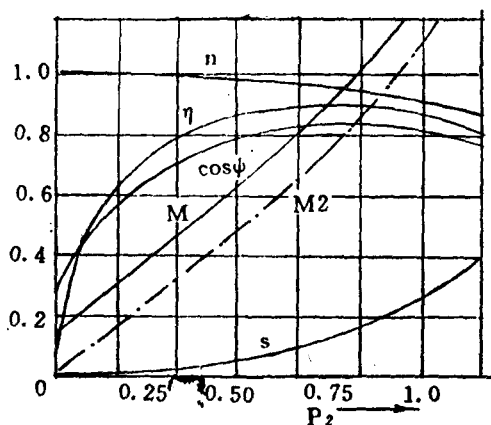
$$s = \frac{f_2}{f_1} \quad (1-3)$$

鼠笼机的工作特性参数:输出转速 n 、输入电流 I_1 、功率因数 $\cos \varphi$ 、输出转矩 M 、效率 η 均为其输出功率 P_2 的函数。机械特性为其输出转矩与输入电压 U_1 的平方成正比,即:

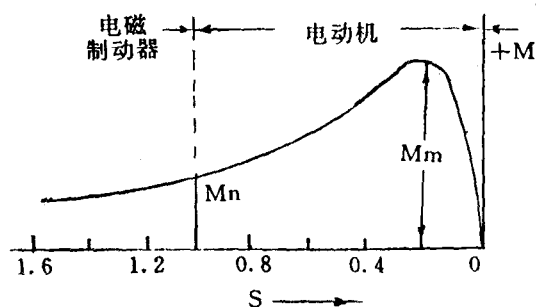
$$M \propto U_1^2 \quad (1-4)$$

其特性图如图1所示。

从鼠笼式异步电动机的工作原理和特性中可以看出,在其速度调整方面有两类方法:第一类为改变其旋转磁场的同步转速 n_0 ,在这一类中通常采用两种办法,一种是改变电源的频



鼠笼式异步电动机的工作特性



鼠笼式异步电动机的机械特性

图 1

率 f_1 ，即变频调速，这种办法可实现连续平滑的无级调速，并且可以得到比同步速度高的转速。变频调速方法改变的是旋转磁场的同步转速 n_0 ，对电机的转差率 s 没有人为的加大，因而，没有附加的转差损耗，所以，效率比较高，是一种高效的调速方法。另一种方法是改变鼠笼式异步电动机的极对数 P 。但由于 P 只能是正整数，并且，因制造上的原因 P 又不能过大，所以，这种办法只能得到一系列级差比较大的转速，调速范围也比较窄，要想得到平滑的调速需要添加一些辅助设备。第二类调速方法是不改变同步转速而改变转差率的调速法，常用的是降压调速，又可分为连续降压调速法和 Δ/Y 调速法。由于这一类方法会引起电机的附加转差功率损失，调速效率也就较低了，是一种低效率的调速法。

第三节 变频调速

根据式(1-2)可知，鼠笼式异步电动机的输出转速 n 是电机电源频率 f_1 的一阶连续函数，所以，只要设法改变电机电源的频率 f_1 ，就可以改变电机的转速而达到调速的目的。这种调速方法具有许多其它调速方法所不具备的优点。

近年来，由于大功率半导体电子元器件的出现，变频调速设备的研制得到了充分的发展，其功率范围已从1千瓦达到数千千瓦。

一、变频调速的特性

由式(1-2)

$$n = n_0(1-s) = \frac{60(f_1 - f_2)}{P}$$

可知， $n \propto f_1$ ，改变 f_1 就可改变电机转速。但是，根据电动机的工作原理，在电源的频率 f_1 变化时，如果电源电压不变，那么，电机定子铁芯的磁通将会改变，为保证电机铁芯中的磁通不至于过饱和，造成铁芯过热而损坏电动机，在改变电源频率 f_1 的同时，就必须相应的改变电机的电源电压 U_1 ，即变压变频方式，(缩写为VVVF)，电机定子铁芯中的磁通 Φ 与 U_1 和 f_1 的关系式如下：

$$\Phi = C_1 \frac{U_1}{f_1} \quad (1-5)$$

式中： C_1 为一常数。

在电动机设计时，为了充分利用电动机的铁芯，一般都把铁芯磁通值选在接近铁芯磁通的饱和值上，所以，为保证 Φ 不超过铁芯饱和值，在变频调速中调低 f_1 时，必须同时调低电机电源电压 U_1 以保证 Φ 不变，亦即恒通调节。这种在变频调速中要求对 f_1 和 U_1 进行协调调节的方法又叫变频调速中的协调控制。

根据 U_1/f_1 协调控制的方式不同，变频调速调节就有不同的特性。

1. 恒转矩调速

由异步电动机的转矩公式：

$$M = C_m \Phi_m I_2' \cos \varphi_2 \quad (1-6)$$

可以看出，电动机的输出转矩 M 与 Φ_m 成正比，要实现 Φ_m 不变，则需 U_1 与 f_1 之比为常数。

这种变频调速方式的缺点是电动机最大输出转矩 M_{max} 会随 f_1 的下调而减小，（因为 U_1 需随 f_1 按比例下调，而转矩按 U_1^2 降低），这对于满载启动或过载启动很不利，但对于风机和泵类负载还是可以适用的。

2. 恒最大转矩调速

由于恒转矩调速的启动和过载性能不好，为了使电动机在低速时有较大的启动转矩，提高启动能力，则应采用恒最大转矩调速控制。恒最大转矩调速控制为电动机定子感应电势 E_1 与电源频率 f_1 的协调控制，即 E_1 与 f_1 之比为常数的协调控制。

二、变频调速系统的分类

变频调速系统的主要环节是能够提供变频电源的变频器，变频器目前应用的主要交流元器件有：大功率三极管、可控硅、可关断可控硅。从变频器变频方式上分类，变频调速系统主要有两大类：交流一直流—交流变频系统、交流—交流变频系统。

三、变频调速的主要优缺点

优点：效率高、调速范围大（5%—100%）、特性硬、调速精度高、可实现平滑无级调速、启动能耗小、可预设计工作特性曲线、可群控等。

另一突出优点是节能效果显著。尤其对风机、水泵等变工况运行的负载，因为流量 Q 、压头 H 、轴功率 N 与转速 n 之间，有如下关系式： $Q \propto n$ ，

$$H \propto n^2,$$

$$N \propto n^3,$$

所以，当工况需要的流量变小而相应调低速度时，电动机轴功率按 n^3 下降，故而显著节能。据茂名石油总公司对采用变频调速的30台机泵的实测资料，平均节能率达40%。

缺点：主要是变频器结构复杂，初投资较大，低速区功率因数下降。

四、适用范围

适用于中、小容量低压电机，如辊道、风机、泵类、纺织机械等。

第四节 变极对数调速

变极对数调速是改变同步转速 n 。调速的另一种方式，这也是一种无附加转差功耗的高效方法。但是，这种调速方法受到极对数必须是正整数的限制，以50Hz的电网频率为例，在极对数 $P=1、2、3、4、\dots$ 时，电动机同步转速 $n_s=3000、1500、1000、750、\dots$ (rpm)，由此可知变极对数调速所能得到的速度是有级的，并且速度级差较大，不能实现无级调速。

根据变极对数调速的原理制成的可变极对数电动机称为变极多速电动机，已有系列产品可供选择。

一、变极调速的工作原理

根据鼠笼式异步电动机的工作原理，当定子电源频率每变化一个周波，定子绕组中的一对磁极的磁场在空间沿三相绕组移动一次。一对磁极的电动机其三相绕组是均匀地分布在 360° 的空间上，如果绕组是对称地分布在 180° 的空间上，磁场在空间的移动就会减慢一半，即旋转磁场的同步转速与极对数成反比，这个现象用数学方法表示就是公式（1—2）。

二、变极调速的优缺点

优点：效率高（减速时可回馈电能）、操作控制简单（只需用转换开关或接触器即可）、初投资少、维护方便、可分段启动等。

缺点：调速是有级的，调速范围和适用范围窄，在需要无级平滑调速时需要配用其它设备。

变极调速适用于对速度要求是有级并且级差较大的场合，尤其适用于只需要二、三档固定转速的调速场合，如机床、矿山、冶金、纺织等设备。

第五节 调 压 调 速

一、调压调速的原理

式（1—4） $M \propto U_1^2$ 说明，只要调节定子的输入电压 U_1 就可以得到不同的输出转矩，在与某种特性负载匹配时，其工作点将会稳定在某一转速上，从而实现转速调节。

二、调压调速的优缺点

调压调速的主要优点：线路简单、调压装置体积小、价格低廉、维修方便等。其主要缺点是：低速运行时电机转差功率损耗较大、效率低、工作特性软、调速精度较低。

尽管调压调速有许多缺点，但在拖动风机和泵类负载时，尤其在小功率（不大于100千瓦），调速范围在70%—100%内仍然是一种可选的调速方法。

采用调压控制系统除可调速外还可以提高轻载时的功率因数，减少电机空载损耗，替代电动机的降压启动设备。

降压调速的一种简单方式是 Δ/Y 转换器调速，它具有结构更简单，操作更方便的优点，一般在负载低于45%时用Y接法，负载大于45%时用 Δ 接法。这种调压法的使用面非常窄。

第二章 绕线式异步电动机经济运行的调速

第一节 概 述

绕线式异步电动机与鼠笼式异步电动机的区别：绕线式异步电动机转子绕组与定子绕组一样，也是由对称三相绕组按Y型接法组成的。转子绕组与三个集电环相接，每个集电环通过电刷与外电路相联。

由于绕线式异步电动机转子结构的特点，其转子绕组可以接入附加装置，以改善电动机的启动和调速特性。有一些容量较大的电动机本身就装有提刷装置，当电动机启动完成又不需要调速时就可以将电刷提起并短接，以减少磨损。

绕线式异步电动机转子所具有的可以调整的特性，使绕线式异步电动机的调速控制比鼠笼式异步电动机更为方便和完备。

第二节 绕线式异步电动机的调速方法

绕线式异步电动机的调速，除鼠笼式异步电动机的调速方法均可采用（对绕线式异步电动机来说，这些方法经济性不太好）外，自己特有的主要调速方法有两种，一种是串电阻调速，另一种是串级调速。

一、串电阻调速

1. 串电阻调速的原理

串电阻调速的主要原理是在转子三相绕组中对称地串接上功率电阻，从而使绕线式异步电动机的机械特性改变。在电动机的输出负载转矩不变时，可以通过调节转子绕组上串接电阻的阻值，使电动机与被拖动设备的工作转速得以调节，当电动机的负载转矩一定时，其转子绕组的串接电阻阻值越大工作转速就越低。

2. 串电阻调速的优缺点

主要优点：价格低廉，可以实现无级调速，可以改善电动机的启动性能，可靠性好，功率因数高等。

主要缺点：外接电阻功率消耗较大，效率较低（对于大功率电机这个问题更突出）。

3. 串电阻调速的主要适用范围

串电阻调速主要用在小功率绕线式电机上，各类起重设备应用较多。

二、串级调速

1. 串级调速的原理

串级调速的原理就是在绕线式异步电动机的转子绕组中串入一个附加电势，这个附加电势与转子感应电势的频率相同、相位相反，只要调节这个附加电势，就可以使电机的速度得以调节。

由于电机转子感应电势的频率与转子的转速相关，所以，附加电势的频率也要根据转子转速的变化来调节。

2. 串级调速的主要优缺点

主要优点：（1）节约电能。串级调速在电机转速下降时产生的转差功率不象串电阻调速那样消耗在功率电阻上，而是通过电能回馈装置将这部分电能回馈回电网中。（2）控制方便。可控硅技术的发展使得串级调速的控制变得非常简便。（3）设备初投资少。（4）可以实现平滑无级调速，效率高等。

主要缺点：（1）目前广泛采用的次同步串级调速只能在单象限的场合下使用。（2）无法使电机反转。（3）转子电流的高次谐波反馈到电网时对电网有影响。

3. 串级调速的主要适用范围

串级调速主要应用在单象限运行、调速范围不大和对动态性能要求不太严格的场合，因此，它在风机、水泵、矿山机械和冶金机械上的应用比较广泛。

第三章 电动机经济运行中的机械调速装置

第一节 概 述

在第一章和第二章中介绍的主要是异步电动机本身的调速运行，改变的是电动机本身的特性。本章则主要介绍电动机以外的机械调速方法，即在保持电动机同步转速不变时，通过电动机和负载之间的机械连接装置来调速。

目前在工农业生产中经常使用的机械调速装置有：电磁离合器、液力耦合器和磁粉离合器等。

第二节 电 磁 离 合 器

一、电磁离合器的工作原理

电磁离合器的结构原理如图2所示，其输入端（与电动机相连接）为一电枢，输出轴（与负载相连接）为磁极。电枢是一杯状铸钢体，磁极则由铁芯和励磁绕组构成，励磁绕组与直流励磁电源相接。当电动机带动电枢旋转时，电枢因切割磁力线而产生感应涡流，感应涡流与磁极磁场相互作用形成电磁转矩带动负载工作。

感应电磁转矩的大小，在负载一定时，由电枢和磁极的转差率决定，此时，如果磁极的励磁电流越大则电枢和磁极的转差率就越小，也就是输出轴的转速越接近于电动机的转速。反之，则转差率将增大。

磁极转速较低时才能在电枢和磁极之间产生足够的电磁转矩来带动负载。所以，只要通过调节磁极的励磁电流就可以实现调速的目的。

目前，我国已有将鼠笼式异步电动机与涡流式电磁离合器组装在一起的系列产品，被称作电磁调速电动机。其功率范围为0.55—90千瓦。

二、电磁调速的特点及适用范围

电磁调速的主要优点：结构简单、加工制造方便、运行安全可靠、控制线路简单、对电网无污染、价格低廉、维修方便；闭环控制时，调速范围10%—100%，可实现无级调速，精度也有一定的保证（可达2%左右）等。

电磁调速的主要缺点：这种调速在低速时效率较低，高速时特性较软，额定最高转速比较低（仅为同步转速的80%），在负载小于10%时有一段失控区等。

电磁调速的主要适用范围：针对电磁调速的特点，这种调速最适合于风机和泵类负载，而且，在拖动风机和泵类负载时它的失控区也不会出现，低速时的效率低下的绝对比重也不大。

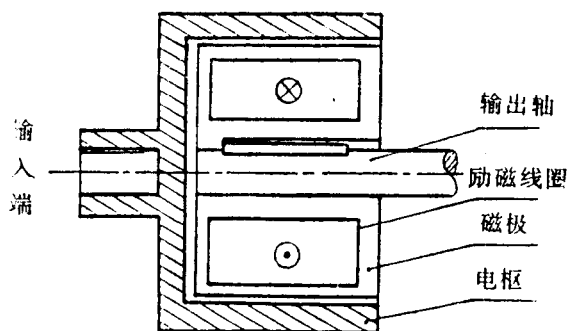


图2 电磁离合器结构原理图

第三节 液力偶合器

液力偶合器的研制生产和使用已有60多年的历史,我国从50年代开始对液力偶合器进行了研究和生产,目前已形成系列产品,主要生产厂家有:大连液力机械厂、上海交通大学附属工厂、张家口煤机厂、沈阳煤机配件厂、蚌埠风动机械厂、上海交华液力偶合器厂等。

一、液力偶合器的结构及工作特性

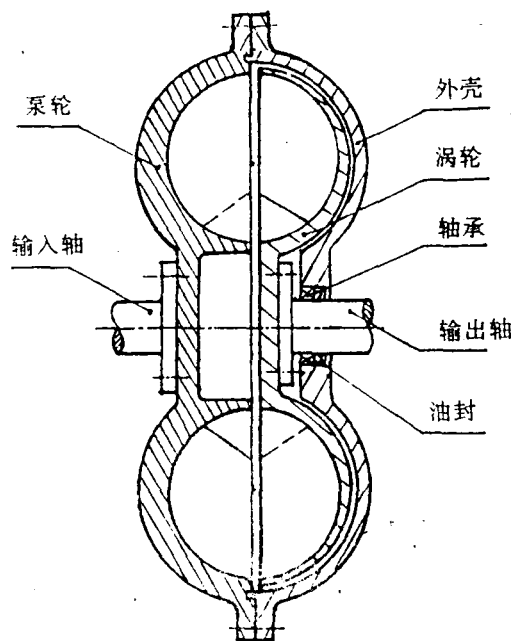


图3 液力偶合器的工作原理图

液力偶合器主要由泵轮、涡轮、输入输出连接装置和密闭的外壳等组成,在密闭的工作腔中充满工作液。液力偶合器的结构和工作原理,如图3所示。当泵轮被主动机械拖动时,液力偶合器腔体内的工作液体受泵轮叶片的搅动,一方面跟随泵轮做圆周运动,同时,又相对泵轮做离心运动,工作液体从泵轮半径较小的入口处被沿着泵轮的流道抛出到半径较大的出口处,使工作液体增加动能以高速冲向涡轮叶片。这时,从泵轮出口冲出的工作液体,沿涡轮弧面从半径较大的进口处冲到半径较小的出口处,将液体的部分动能传给涡轮,变成推动涡轮旋转的机械能,与工作液体的剪切力一起推动涡轮旋转,带动负载工作。

液力偶合器传递功率的大小与工作腔中的充液量有关,充液量越大液力偶合器传递

的功率就越大,反之,液力偶合器传递的功率就越小。

液力偶合器的特性参数。

1. 转矩特性:液力偶合器的输入转矩 M_B 与输出转矩 M_T 相等。即:

$$M_T = M_B \quad (3-1)$$

2. 转速特性:液力偶合器的转速特性一般用液力偶合器的输出转速(亦即涡轮转速 n_T)和输入转速(亦即泵轮转速 n_B)的比值 i 来表示:

$$i = \frac{n_T}{n_B} \quad (3-2)$$

一般液力偶合器的设计转速比 $i=0.96-0.97$ 。

3. 转差率:液力偶合器转差率(s)是指泵轮转速和涡轮转速差值与泵轮转速之比。

$$\begin{aligned} s &= \frac{(n_B - n_T)}{n_B} \times 100\% \\ &= (1 - i) \times 100\% \end{aligned} \quad (3-3)$$

4. 转矩系数:

$$\lambda_B = \frac{M_B}{\gamma n_B^2 D^5} \quad (3-4)$$

式中： γ 为工作液体的重度， D 为液力耦合器的有效工作直径。

5. 过载系数：液力耦合器的过载系数有两种，一种是最大过载系数，其值是最大输出转矩与额定转矩（ M_e ）之比。

$$T_{max} = \frac{M_{max}}{M_e} \quad (3-5)$$

另一种是启动过载系数，其值为启动转矩与额定转矩之比。

第四节 调速离合器

调速离合器，或称奥米茄（Omega）离合器，是70年代初期，国外推出的一种新型调速传动装置。它是在传统的液压控制片式离合器的基础上发展起来的节能型调速传动装置。目前，国内杭州齿轮厂等单位已有产品供应。

一、调速离合器的结构及工作原理

调速离合器由工作活塞，主动、从动摩擦片及工作油泵、速度控制器等组成。结构和工作原理如图4所示。

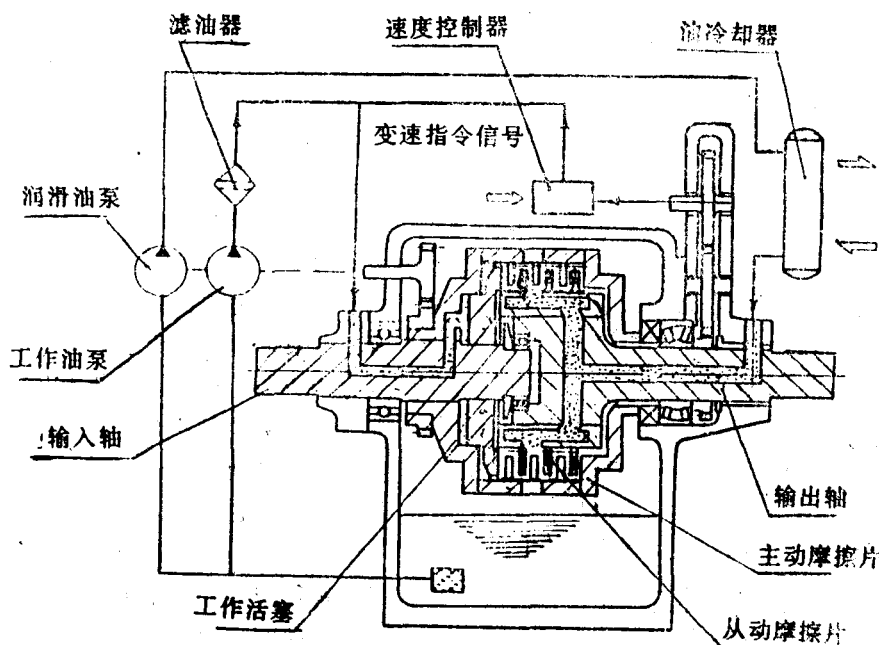


图4 调速离合器结构和工作原理图

利用速度控制器控制离合器工作活塞的工作油压来改变摩擦片间的相对位置，使主、从动摩擦片间从完全结合（同步）到产生相对滑动，以调整输出轴转速，一般可将输出轴转速任意控制在输入转速的30%范围内，达到无级调速的目的。

当负载工况变化而引起输出轴转速变化时，控制系统的输出速度反馈装置，能自动调整离合器的工作油压，譬如当负载减轻、阻力矩减小，引起输出轴转速升高时，反馈装置就促使油压下降，摩擦片间的压紧力减小，使输出转速随着降低；反之，若负载增大，引起输出

轴转速降低，则促使油压升高，输出轴转速随之增大。这样，就能使输出轴获得稳定和预先设定的转速。专供的润滑油使摩擦片之间建立油膜，避免了滑动时的干摩擦，因此，摩擦片几乎不会损坏。

调速离合器的主要参数。

(1) 转矩特性：如对轴承等的阻力矩忽略不计，调速离合器的输出转矩 (M_T) 和输入转矩 (M_B) 相等。

(2) 传动效率：传动效率 (η) 为输出功率 (N_T) 和输入功率 (N_B) 之比，即：

$$\eta = \frac{N_T}{N_B} = \frac{M_T \cdot n_T}{M_B \cdot n_B} = \frac{n_T}{n_B} = i \quad \left(\text{因为 } \frac{M_T}{M_B} = 1 \right)$$

式中： i 为转速比， n_T 、 n_B 分别为输出、输入转速。当 $i=1$ ，即同步时， $\eta=100\%$ ，实现无效率损失的直接传动。这是调速离合器的一大优点（液力偶合器最大传动效率为 97%—98%）。

调速离合器的其它特点和适用范围，大体和液力偶合器相同，可参照前述。

第五节 磁粉偶合器

磁粉偶合器作为电磁离合器的一个分支，它除具有电磁离合器的特点之外，还具有制动功能、位置控制、张力控制、微动控制、定位控制等多种用途。目前已被广泛采用为机械自动化技术的常用元件之一。

一、磁粉偶合器的工作原理

磁粉偶合器是以磁粉（软磁材料）为介质来传递转矩的。它能在同步和滑差两种方式下工作，它的调速特性就是建立在滑差工作方式之上的。其原理如图 5 所示。

当直流励磁电源接通后，在磁粉偶合器的主、从动转子之间的间隙中产生垂直磁通，使主、从动转子间的磁粉形成磁粉链，由磁粉粒子之间的电磁力和机械力联合作用而形成的抗

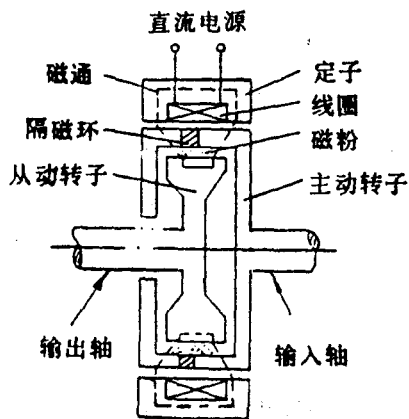


图 5 磁粉偶合器工作原理图

剪切力来带动从动转子跟随主动转子旋转，从动转子的力矩直接由励磁电流的大小决定。当励磁电流足够大时，主、从动转子同步运转；当励磁电流为零时，主、从动转子分离；在励磁电流为某一特定值时，从动转子的输出转矩就一定，当接有负载时从动转子将稳定在某一转速上，因此，只要调节励磁电流就可以调节转速。

二、磁粉偶合器的工作特性

1. 恒转矩特性：当励磁电流一定时，磁粉偶合器的输出转矩与滑差的大小无关，为定值，所以，它具有恒转矩输出的特性。

2. 调速特性：在负载功率一定时，调节励磁电流的大小，就可以实现不同的滑差，从而达到调速的目的，由于励磁电流可以任意调节，所以，输出转速也就可以实现平滑的无级调速。

三、磁粉耦合器的优缺点

磁粉耦合器的主要优点：结构简单、调速范围广、操作灵便、灵敏度高、运行安全可靠等。

磁粉耦合器的主要缺点：传动有滑差功率损失、速度不能调高、对速度要求较高时，需要附加控制装置等。

四、磁粉耦合器的主要应用范围

在开环控制时，适合于风机、泵类负载，闭环控制时，在其它场合也可以使用；由于它有恒转矩控制的特点，它在过载保护和空载启动中也有较广泛的用途。