

液力调速与节能

YELI TIAOSU
YU JIENENG

杨乃乔 姜丽英 编著

37.331
2

1994 年 11 月 1 日 工业出版社

液力调速与节能

杨乃乔 姜丽英 编著



国防工业出版社

• 北京 •

图书在版编目(CIP)数据

液力调速与节能/杨乃乔,姜丽英编著. —北京:国防工业出版社,2000.5

ISBN 7-118-02118-0

I. 液… II. ①杨… ②姜… III. ①液力耦合器-调速②液力耦合器-节能 IV. TH137.331

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 14840 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 323 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

70年代两次世界性的能源危机以及解决环境问题的迫切性,引起了各国对节能技术的更大关注,也推动了电动机调速技术的大发展。近20年来,一些发达国家,一方面不断提高调速设备的生产能力和推出新型调速产品,另一方面大力开拓调速技术市场,不断扩大应用领域,使电动机调速技术成为一个引人注目的具有相当实力的产业部门。国外交流电动机调速技术的发展有逐步取代直流调速的趋向。电动机调速技术有多种方式,从大的门类讲有电气调速和机械调速。多种调速方式均在发展,其中电气的变频调速和机械的液力调速发展较快。

我国在电动机调速技术的开发和应用方面,从80年代以来有较大的发展,但与发达国家相比还相当落后。例如当前我国电动机调速技术电气调速多以低电压、小容量调速对象为主。高电压、中大容量(200kW以上)以液力调速为主。

电动机调速技术广泛应用于风机、水泵、压缩机、提升机、运输机、破碎机、球磨机等设备的传动,遍及冶金、电力、化工、建材、石油、煤炭、纺织、造纸等生产部门,可获得不同程度的节电效益、产品质量效益和产量效益,以及环保效益。通过对我国应用电动机调速技术的大量实例调查表明,风机、水泵采用电动机调速装置的节电率大多在15%~25%范围,调速装置的投资回收期,在目前情况下约为1~3年,但应用还很不普遍,仅占应调速电动机总量的8%左右。

据有关部门统计,全国风机、水泵耗电量约占全国发电量的30%。当前,风机、水泵以变流量调速运行(即电动机调速)替代原有的闸阀节流而获得显著的节能效益,引起人们极大关注。因此,风机、水泵必然地成为全国调速节能重点对象。

中国科协工程学会联合会曾于1992年、1993年先后召开了“全国首届风机和泵系统节能技术交流会”和“机械设备调速方式技术路线研讨会”,为发展适用我国的电动机调速节能技术,形成产业化、商品化而出谋献策,会议认为电机变极调速、变频调速、液力耦合器、液粘调速离合器等调速装置是当前我国应大力发展和推广的调速技术,它们各有其特点和适用领域,使用单位应结合具体情况选择经济、适用与节能效果好的调速装置。

本书深入浅出,理论与实践相结合,阐明了风机、水泵变流量调速运行节能的基本原理。在对电动机各类调速装置概述后,较为全面地阐述了液力耦合器及液粘元件原理、结构、应用选型及调速节能效果。书中列举了液力耦合器及液粘元件在各应用领域的节能实例,为新设计和老设备节能改造的匹配选用提供参考。

近20年以来,作者从事了液力传动以及液粘传动的理论研究、试验、产品设计、加工工艺、用户服务以及行业标准的制订等工作,积累了一些经验和取得了一定的成果,加以总结与推广,可望对液力行业和各领域用户的广大科技工作者能有所裨益,此诚为作者的衷心期望。

节约能源贯穿本书始末,绪论中阐述了节能的重要意义与途径,在第一章中介绍了可

以调速节能的各类调速装置及对它们的应用选择与评价,使读者对总体概貌有所了解。第二章以后较详细地介绍了液力传动的基础原理、液力耦合器的种类、结构性能、如何应用与节能效果。特别是对国外近年出现的新技术——多元调速装置作了重点介绍。液粘传动虽与液力传动原理不同,但在调速节能方面液粘调速离合器等元器件与液力耦合器有相似的性能和同等用途,并同属机械调速装置。为此本书特以第十一、十二、十三章专述液粘传动原理、分类与应用。本书后部附有液力(粘)元件部分厂家产品目录,以使企业节能改造有样板,求购元件有索引,以便企业节能改造时参考,推动节能事业的发展。

在本书的编写过程中,曾经得到北京理工大学魏宸官教授、哈尔滨工业大学陆肇达教授的热心帮助和指导,曾经得到大连液力机械总厂曹晓宁高级工程师和刘应诚高级工程师提供的理论联系实际的应用资料,在此向他们表示诚挚的谢意。

由于液力传动尤其是液粘传动,在我国尚属新兴技术,本书的编写出版,既有理论又有实践,是我们的一种尝试,由于技术水平有限,谬误不当之处,敬请指正。

编 著 者

目 录

绪论	1	时的特性	54
第一节 节约能源的重要意义	1	第二节 普通型液力耦合器	55
第二节 调速运行是风机、水泵节能的重要途径	2	第三节 限矩型液力耦合器	56
第三节 液力耦合器的应用与发展	5	第五章 调速型液力耦合器	70
第一章 各类调速装置选择与评价	9	第一节 进口调节式调速型液力耦合器	70
第一节 调速装置的分类与特点	9	第二节 出口调节式调速型液力耦合器	72
第二节 选择调速方案时应考虑的问题	15	第三节 复合调节式调速型液力耦合器	76
第三节 无功功率的影响及改进措施	23	第四节 液力耦合器的辅助系统	77
第四节 功率因数及高次谐波对系统的影响与补偿	24	第六章 液力耦合器传动装置	79
第五节 调速方式的选择及评价	27	第一节 前置齿轮式液力耦合器传动装置	83
第二章 液力传动基本知识	34	第二节 后置齿轮式液力耦合器传动装置	85
第一节 液力传动的概念	34	第三节 复合齿轮式液力耦合器传动装置	85
第二节 液力传动的工作液体	34	第四节 多元调速装置	86
第三节 液力传动的基础理论知识	36	第七章 液力耦合器匹配选型与维护	90
第三章 液力耦合器的特性	41	第一节 工作机负载类型与匹配	90
第一节 液力耦合器工作原理	41	第二节 限矩型液力耦合器的匹配	91
第二节 液力耦合器的特性	42	第三节 调速型液力耦合器的匹配	93
第三节 液力耦合器的分类	47	第四节 冷却器的选择与计算	95
第四节 液力耦合器的系列化	48	第五节 液力耦合器安装、使用与维护	97
第四章 普通型与限矩型液力耦合器	54		
第一节 液力耦合器部分充液			

第六节 液力偶合器可靠性与故障分析.....	98	第五节 在砂磨机上的应用	181
第七节 液力偶合器的配套与成套	108	第十一章 液体粘性传动的基础	
第八章 液力偶合器调速与节能	111	知识	182
第一节 液力偶合器运行特点与应用领域	111	第一节 液体粘性传动定义与分类	182
第二节 风机水泵调速与节能	114	第二节 液粘传动的工作原理	183
第九章 风机、水泵调速节能实例.....	135	第十二章 液粘传动元件	186
第一节 液力偶合器在火(热)电厂的应用	135	第一节 液粘调速离合器	186
第二节 液力偶合器在钢铁厂的应用	140	第二节 液粘调速装置	195
第三节 风机调速节能实例	142	第三节 硅油风扇离合器	197
第四节 水泵调速节能实例	157	第四节 其它液粘传动元件	199
第十章 大惯量设备运行的节能实例	166	第十三章 液粘传动的应用实例	204
第一节 在带式输送机上的应用 ...	168	第一节 液粘调速离合器在火力发电厂的应用	204
第二节 在刮板输送机上的应用 ...	175	第二节 液粘传动在带式输送机上的应用	208
第三节 在球磨机上应用	179	附录:各类产品(部分)目录与生产厂家.....	211
第四节 在水碾机上的应用	181	参考文献	218

绪 论

第一节 节约能源的重要意义

当前国际上公认节约能源是在煤炭、石油、水能、核能之外的第五种能源。我国是能源生产大国,1997 年底我国发电装机容量已达 2.5 亿 kW,年发电量达 11350 亿 kW·h,居世界第二位。但人均用电量仅占世界第 85 位。因此就人均能源而言,我国是能源小国。人均年用电量仅有 900kW·h,人均负荷不足 210W。而发达国家,人均年用电量都在 0.5~1 万 kW·h,人均负荷达 3000W,为我国人均负荷的 15 倍左右。

我国由于能源不足已经严重影响国民经济发展,能源形势已经非常严峻。每年因缺电造成的经济损失约 2400 亿元,极大地制约着我国经济建设速度。因此在研究加速开发新能源的同时,研究并推进各种节能措施,以求合理使用现有能源,已是迫在眉睫的当务之急。

我国早已确定了“开发与节约并重”的能源方针,近年又提出把节电放在突出的地位,建立节能型国民经济,强化人民的节能意识,搞能源效率革命。前面述及,我国是个能源小国(人均),不但能源短缺,而且能源浪费得惊人!各种产品单位产量所耗能源(简称产品单耗)都在世界上高居榜首。就相同产值所耗能源而言,我国是发达国家的三倍以上,比印度还高出一倍多。有关专家指出,只要我们达到印度水平,则到 2000 年我国能源也不会紧张。可见降低产品单耗具有何等重大意义。我国产品单耗高,主要是由于设备陈旧落后,管理不善及不重视节能造成的。所以,加强用电设备的技术改造和管理,推广使用先进的节能技术和节能装置,是各类企业当前的重要任务。

据测算,到 2000 年,我国年需能源 17.4 亿吨标准煤,而能源产量却只能达到 14.3 亿吨标准煤,所缺部分只能靠节能。

根据《1993 年电力工业统计资料汇编》介绍,我国水电造价为 3897 元/kW,火电为 3859 元/kW。另有资料认为核电造价为 10000~18000 元/kW,而以节能方式获得同样效能则只需要 300~900 元的投入,所以节能投入仅相当于开发能源投入的 1/5~1/10。若每年新增能源 100 亿 kW·h,约需 100 亿元投资(包括发电、输电和煤矿建设)。而每年节电 100 亿 kW·h,则只需 20 亿元甚至更少。可见,党中央、国务院提出的“节能与开发并重,近期以节能为主”的能源政策是极为正确的。

在诸多能源中,电能是应用最普遍、所占比重较大的能源。因此节电是节能中的重要环节。

第二节 调速运行是风机、水泵节能的重要途径

我国现时拥有风机、水泵约 3700 万台,它们年耗电量约占全国发电量的 30%,因此风机、水泵是国家抓节能的重点,是电动机调速技术的主要应用对象。

我国风机、水泵在运行中普遍地存在着四大问题:

1. 单机效率低

国内产品比国外产品效率约低 5%~10%。我国大量风机、水泵设备陈旧,结构落后,效率低。例如 70 年代以前装机运行的风机,其效率大都低于 75%,而近年研制的新型风机,其效率多在 80%~90%(如 4-72 型为 91%,9-26 型为 83%)。70 年代以前装机运行的锅炉给水泵,其设计效率多在 70%以下(如 5U-10 型为 60%),而近年来引进和研制的新型泵,其效率多在 80%左右(如 DG400-140 为 79%,DG680-180 为 81%)。目前我国火(热)电厂中正在运行的风机、水泵约有半数以上属低效耗能设备。

2. 系统实际运行效率低

据调查某钢铁公司风机、水泵实际运行效率仅为 6%。那么何以至此呢?这是因为系统选型和匹配不当,参数裕度过大,以及不合理的运行方式所造成。

裕度过大表现在两个方面:一是工作机选型过大,由于常用设计裕量系数过大使设计容量本已很大,加之“靠挡选择”等层层加码,使工作机容量远远大于需要容量。二是电机选型过大,由于对工作机负载状况不能准确掌握和按传统匹配方式考虑大惯量工作机的带负载起动以及电机对负载起动时间的限制等,人为地加大了机座号,形成了“大马拉小车”欠载运行的不合理的配套(或匹配)。

设计裕度是要有的,但要给定得合理。而采用调速装置,可以改善系统的匹配状态及运行工艺性,从而使系统随时运行在“无裕度”工况,使系统获得良好的技术经济效益。

合理的匹配应使风机、水泵的额定流量和压力尽量接近工艺要求,如此其设备运行时的工况点(装置性能曲线与风机水泵性能曲线的交点)才能经常保持在高效区,如图 0-1 所示。图中 A 点是运行时的高效点,如果选择不当,裕量太大,使图中运行点 B 点偏离高效区,则造成风机、水泵效率下降,浪费能源。

3. 大多数仍在沿用落后技术——管道闸阀节流

由于工程设计人员对管路阻力计算不准确,以及选用过大的安全容量,而在选用设备时又担心计算压力和流量不能满足工况需要,或无适宜规格可选,只好从高档规格或高压中选用,结果由于层层加码,造成选用设备的额定流量超过实际所需流量;或因工艺要求而不断变更流量,现场操作人员只有采用阀门(或挡板)来增加管路阻力,以求减少流量,使流量符合工艺要求。这种节流方法会人为的增大阻力,使风机、水泵的使用效率降低,造成能源浪费。

节流损失与流量的额定值比例有关。例如一台 40kW 的离心风机运行在额定流量 70%的情况下,由于节流而造成压头调节损失,其功率损耗达 15kW 左右。例如某炼油厂

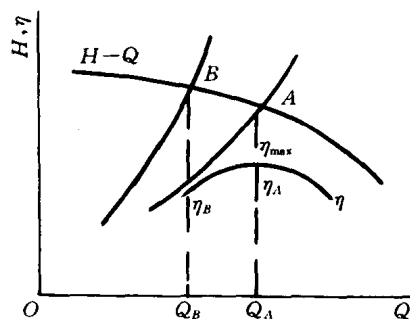


图 0-1 风机、水泵运行偏离额定工况点时的效率

共有 471 台离心泵, 阀门节流损失占电机功率的 30%~40%。根据全国 21 个炼油厂统计, 仅水泵在一年里消耗在调节阀门压头的损耗就有 3.75 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

由于节流后运行点偏离高效区, 使风机、水泵长期处于低效区运行, 造成电能浪费, 电费急剧增长。表 0-1 列出的是一台国产 200MW 火力发电机组配 2 台 DC400-180 型电动定速给水泵后, 在各种负载下调节阀门的节流损失和运行效率的下降情况, 以及所造成的综合损失。

表 0-1 国产 MW200-130/130 型机组配 DC400-180 型给水泵在各种负荷下的效率和损失

负荷 /MW	流量 /t/h	单位阻力 /MPa	给水泵 台数	DC400-180 给水泵特性		效率 下降值 /%	在调节阀上 的损失 /MPa	综合损失	
				出口损失 /MPa	η /%			每年多 耗电/ $\text{kW} \cdot \text{h}$	每年多用 运行费 /万元
100	315	17.10	1	21.10	70.5	7.5	3.633	4457000	17.83
120	345	17.6	1	21.09	71.5	6.5	3.03	4615316	18.46
140	410	17.7	1	20.20	72.5	5.5	2.06	3824273	15.36
160	470	18.5	1	19.20	71.8	0.2	0.605	717338	3.67
180	535	19.0	2	21.20	60	18	2.25	8838882	35.36
200	616	19.4	2	21.10	69	9	1.482	5549110	22.20

对于可变流量或间歇性的负荷宜采用调速方式以节能, 对于固定流量的负荷, 使风机、水泵及所配用的电动机与负荷情况相近, 就可以在高效区运行。

4. 运行管理粗放

风机放空、水泵回流、跑冒滴漏等现象随处可见, 使能源白白浪费掉。专家认为通过加强管理, 可以拿回 10% 的能源。

本书重点论述的是如何提高系统运行效率和怎样采用先进的调速节能技术, 这两个问题的解决, 常可使效率大幅度提高, 获得显著的节能效益。

下面以图示方法论述变流量调速运行何以能够节能, 以离心泵为例(叶片式风机亦然)进行说明。离心泵调速节能基本原理可通过扬程与流量的变化关系曲线说明, 如图 0-2 所示。图中 $(H-Q)_e$ 为泵在额定转速下扬程、流量的变化曲线; $(H-Q)_1$ 为泵在调速运行时的扬程、流量变化曲线; R_1 为使出口阀门全部放开时的管道阻力曲线; R_2 为关小泵出口阀门节流控制时管道阻力曲线; H_e 、 Q_e 为泵的额定扬程和流量; H_B 为阀门节流控制时的泵的扬程; H_C 为全部放开泵出口阀门调速调流量时泵的扬程; Q_1 为泵的调节后流量。

当改变泵出口阀门开度调节流量时, 流量由 $Q_e \rightarrow Q_1$, 管道阻力曲线由 $R_1 \rightarrow R_2$, 扬程由 $H_e \rightarrow$

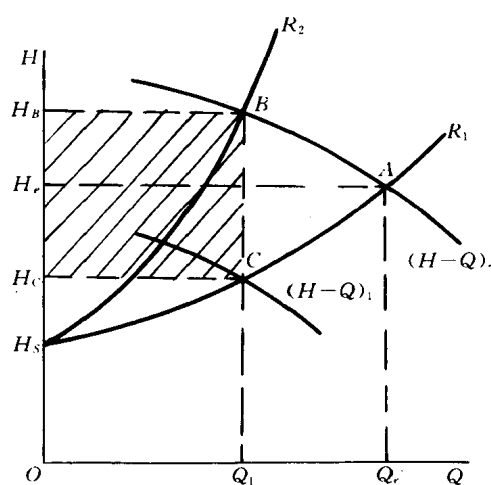


图 0-2 离心泵调速节能原理图

H_B , 此时泵的轴功率可由面积 $OH_B BQ_1$ 表示。当放开泵出口阀门, 改变泵的转速调流量时, $(H-Q)_0$ 曲线则平行下移至 $(H-Q)_1$, 与管道阻力曲线 R_1 相交在 C 点, 这时泵的轴功率可由面积 $OH_C CQ_1$ 表示。由此可以看出, 调节泵的流量由 $Q_0 \rightarrow Q_1$, 不同的调节方式, 泵的轴功率不同, 调泵转速比调泵出口阀门时轴功率小很多, 面积 $H_C H_B B C$ 即为节省的功率。根据离心泵相似定律, 泵流量与转速的一次方成正比; 扬程与转速二次方成正比; 轴功率与转速三次方成正比。可见在泵转速下降 $1/2$ 时则流量下降 $1/2$, 扬程降为 $1/4$, 轴功率降为 $1/8$ 。随着泵转速的下降, 轴功率成三次方关系下降。因此采用改变泵转速来调节泵的流量, 节能效果是非常显著的。

风机、水泵绝大多数配用不变转速的交流电机, 为调节转速就必须配用机械的或电气的调速装置。下面分析实现交流电机调速的几种途径。

对于交流电机拖动的负载, 其转速表达式一般为

$$n = n_D \cdot i_C \cdot i \quad (0-1)$$

式中 n_D ——电机转速(r/min);

i_C ——定传动比机械传动装置的输出/输入转速比;

i ——调速装置的输出/输入转速比;

同时式中的 n_D, i 可分别写成如下表达式

$$n_D = n_0(1 - S) = 60f/p \cdot (1 - S) \quad (0-2)$$

式中 n_0 ——电机同步转速(r/min);

S ——电机转差率;

f ——电机用电频率(Hz);

p ——电机极对数, 对;

$$i = n_T/n_B = 1 - S_T \quad (0-3)$$

式中 n_T ——调速装置输出转速(r/min);

n_B ——调速装置输入转速(r/min);

S_T ——调速装置转差率。

将式(0-2)、式(0-3)代入式(0-1)负载转速可表达为

$$n = 60f/p \cdot (1 - S) \cdot i_C \cdot (1 - S_T) \quad (0-4)$$

由此可以看出交流电机拖动的负载转速调节途径的方式有: ①改变电机用电频率 f ; ②改变电机极对数 p ; ③改变电机转差率 S ; ④改变调速装置转差率 S_T 。

由上述四种途径入手, 产生了多种调速技术。

按技术成熟情况将几种主要调速方式分为三类, 现归纳为表 0-2。

液力耦合器产品已按系列批量生产, 可以保证随时供应。变频调速技术是我国当前快速发展的新技术, 但在下述两方面难以与液力耦合器(以及液粘调速离合器)相比。一是产品售价, 一般地说在相同功率时, 变频调速价格是液力耦合器的 5~10 倍, 常使用户承受不起。二是在高电压(3kV, 6kV, 10kV)中大容量领域的调速, 几乎完全被液力耦合器及液粘调速离合器所占领。我国目前变频调速绝大部分为低电压(380V)、小容量, 高电压直接变频尚在发展中。即使以后我国生产高电压直接变频装置, 其高昂价格使用户更难承受。因此, 液力耦合器在风机、水泵调速节能中, 富有很强的生命力。

表 0-2 各种调速技术分类表

分 类	调 速 技 术	配用电机型式	技 术 状 态	指导性意见
第一类	变极调速(有级)	笼型三相异步电机	技术成熟可靠	目前正在应用推广
	液力偶合器调速	笼型三相异步电机、同步电机		
	串级调速	绕线型电机		
	电磁调速电机调速	绕线型电机		
第二类	中小容量变频调速	笼型三相异步电机	380V 产品已批量生产	今后应着重研究提高可靠性和降低造价的问题
	液粘调速离合器调速	笼型三相异步电机、同步电机	已小批量生产	要积累使用经验、增加产品系列
第三类	大容量变频装置调速	笼型三相异步电机	高电压、大容量产品,目前尚处于开发研究阶段	今后要注意把元器件、装置系统、电机等方面进行一体化研究使整体技术达到较高水平

第三节 液力偶合器的应用与发展

液力传动的工作原理可通过图 0-3 来说明。设想在船舶的传动装置中,离心水泵的叶轮 1 把发动机 2 输入的机械能转化为液体能(水的动能和压能,其中主要是动能),具有液

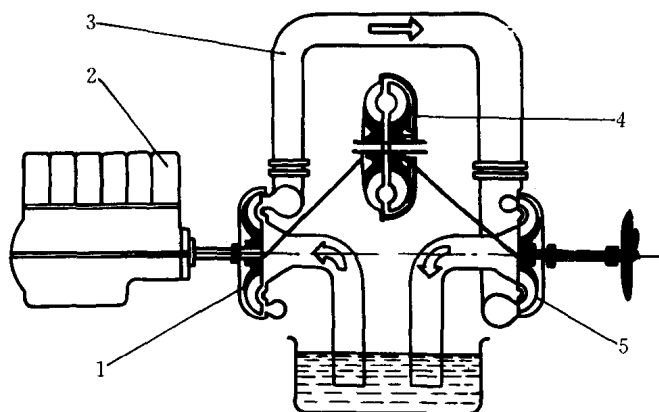


图 0-3 液力传动原理示意图

1—离心水泵的叶轮;2—发动机;3—水管;

4—液力传动装置模型;5—水轮机的叶轮。

体能的水经管路 3 去推动水轮机的叶轮 5,水轮机把液体能转化为驱动螺旋桨转动的机械能。这样的传动装置效率太低,没有什么应用价值。为了提高效率,设法使离心水泵和水轮机靠近,去掉水管和水槽等附件就成为图中 4 所示的液力传动装置模型。

德国费丁格尔(Fottinger)教授按照图 0-3 模型于 1902 年首创了世界上第一台液力

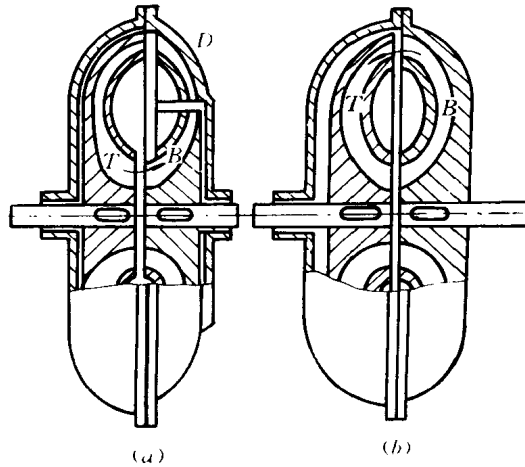


图 0-4 费丁格尔液力元件

(a) 液力变矩器; (b) 液力耦合器。

变矩器(图 0-4(a)),它具有泵轮 B 、涡轮 T 和导轮 D 三个构件。于 1908 年首次将液力变矩器应用在船舶的驱动系统中,传递功率 74.5kW(100HP),最高效率 83%。1920 年包易尔(Bauer)在费丁格尔液力变矩器的基础上去掉了导轮,而成为世界上第一台液力耦合器(图 0-4(b)),其效率比液力变矩器大为提高。1927 年斯姆克莱(Simclair)在包易尔液力耦合器基础上,进一步完善结构,使泵轮与涡轮对称布置,构成 Vulcan-Simclair 型液力耦合器,用于汽车驱动系统,并于 1930 年完善成为“液力自由轮”。

随着液力耦合器结构的逐步完善,英国液力驱动工程(FLUIDRIVE)公司首先批量生产和销售液力耦合器。1932 年德国福伊特(VOITH)公司购买了英国专有技术,开始生产液力耦合器和液力变矩器,用于铁路机车的各种传动装置上。然后在结构上作了进一步的改进,使性能有较大的提高,并进行多品种、多规格的批量生产。迄今福伊特公司已成为国际上液力元件产量最多,在产品性能和质量方面享有声誉的著名公司。该公司生产的限矩型液力耦合器、调速型液力耦合器、液力耦合器传动装置和液力减速器四大类型液力耦合器产品,计有 21 个品种、153 个规格,传递功率为 0.5~27000kW,最高输出转速达 12000r/min,年产量约 3 万台,累计出口 100 多万台。

英国液力驱动工程公司的液力耦合器产量仅次于福伊特公司,该公司生产限矩型、调速型液力耦合器和液力耦合器传动装置三大类型产品,计有 15 个品种、115 个规格,年产量为 8000 台左右。传递功率为 0.1~11200kW,最高输出转速达 10000r/min。据该公司统计在各类行业使用的液力耦合器所占百分比如下:

矿山	40%	电力	11.95%
钢铁	11.95%	船舶	8.6%
石油化工	7.92%	其它工业	19.44%

在各类机械设备中使用的液力耦合器所占百分比如下:

连续输送机类	34.35%	泵类	16.8%
风机类	13.05%	绞车类	8.06%
破碎机、球磨机、搅拌机			7.91%

船舶 5.27% 其它设备 14.56%

国际液力偶合器技术,除德国、英国居领先地位外,日本、俄罗斯、美国也较为先进,这些国家均有专业公司或工厂专营液力偶合器生产。日本日立公司的调速型偶合器有四个品种、46个规格,最大功率达8000kW。三菱公司的调速型偶合器有三个品种、43个规格,最大功率达10000kW。原苏联在液力传动方面很重视理论研究,这与西欧各国只着重试验研究显然不同。原苏联出版有较多的关于液力偶合器理论计算方面的书籍和刊物。

国外,液力偶合器已成功地应用于百余种机械设备上,而且其应用领域还在不断扩大。

当前,国际能源供应日益紧张,人们不得不把注意力放到如何提高能源利用率和节约能源方面来。因此,可以在应用中节约能源的调速型液力偶合器和液力偶合器传动装置得到了迅速发展。随着火力发电厂锅炉给水泵向高速、大功率方向发展,促使与其配套的调速型液力偶合器和液力偶合器传动装置也向高速、大功率方向发展。英国泰晤士电厂已成功地应用了MST调速型液力偶合器,转速3600r/min,功率达11200kW。目前,德国福伊特公司正在研制输出转速12000r/min,功率在27000kW以上的超大型液力偶合器传动装置和生产大功率的多元调速装置。由于液力偶合器传动装置结构复杂、技术密集、加工精度高、难度大、利润高,因而西方各大公司竞相研制生产,竞争很激烈。

由于液流在液力元件工作腔中运动的复杂性,迄今尚不能用数学模型表达。西方各大公司均十分重视试验研究,液力偶合器腔型的改进、新结构的创立,均以试验为根据。各公司均设有设备齐全、仪器精良的研究性试验室,以发展新产品,提高其在国际市场上的竞争能力。

为满足煤矿井下的防爆要求,英国液力工程公司率先研制了以清水为工作介质的阿克华费尔(AKWAFIL)水介质限矩型液力偶合器,井下使用安全可靠,而且由于水的重度高于传动油,因而使液力偶合器提高了传递动力能力20%以上。福伊特公司用于煤矿井下的限矩型液力偶合器,使用一种名为“埃拉欧”(ELAOL)的工作液体,其重度为 13.44kN/m^3 (1370kgf/m^3),闪点 240°C 。这种液体用于液力偶合器不仅能防爆,而且还可提高传递功率能力1.6倍。但成本高,有剧毒,因此仅用于煤矿井下。可见,研制重度大、能防爆、符合液力传动要求的工作液体,仍是当前以至今后国内、外液力传动行业的课题。福伊特公司为了满足多级摩擦带条传动带式输送机的特殊要求,在其TV型限矩型液力偶合器基础上改进,加大后辅腔容积,研制出TVV限矩型液力偶合器,最大过载系数仅为1.2,使设备启动时间延长至20~30s左右。近来又在TVV型基础上在涡轮外侧增加了侧辅腔,而成为TVVS型限矩型液力偶合器,使设备启动时间可延长至40~50s,很适合带式输送机的特殊要求。

当前,我国液力偶合器主要应用在带式输送机、刮板输送机、塔式起重机、门式起重机、球磨机、破碎机、风机、水泵、输油泵、锅炉给水泵和船舶辅机等设备上。由于调速型偶合器在炼钢转炉排烟风机、发电厂锅炉给水泵和石油管道输油泵上应用,节电效果显著,已引起人们格外的关注。

我国对液力偶合器的应用还很不普遍,但液力偶合器所具有的改善传动品质和节约能源等优点,表明了它具有较强的生命力。随着我国科学技术的发展,以及人们对液力偶合器的认识不断加深,其应用领域将会日益扩大。

液粘传动对国内国外均是新兴学科,液粘传动技术研究最早当推美国,本世纪 60 年代初,液粘调速离合器开始用于工业领域小功率场合,如小型泵的传动和小型风机传动,到了 60 年代中期已研制出了能够精确伺服控制的液粘调速装置,功率可达 5220kW (7000HP)。到了 70 年代,功率可达 7457kW (10000HP),应用范围已扩展到了电厂、化工厂等重要工业场合。美国有两家公司从事液粘传动的研制生产:它们是宾夕法尼亚州的费城齿轮公司 (Philadelphia Gear Corporation) 和威斯康星州的双盘公司 (Twin Disc Corporation)。70 年代末日本的新泻控巴达公司认识到液粘传动这项技术的先进性和实用性,从美国双盘公司引进了这项技术,进行了大规模的开发生产。英、澳、德等国也先后选用这一技术开发了一些新型传动装置。

我国北京理工大学、上海交通大学、杭州齿轮箱厂等单位先后研制了液粘调速离合器,目前已有几家工厂按系列成批生产了液粘调速离合器。

第一章 各类调速装置选择与评价

第一节 调速装置的分类与特点

一、调速装置的分类

用于交流电机的调速装置即是风机、水泵调速装置。

从流体力学得知,叶片式风机、水泵流量与转速一次方成正比,压头与转速的平方成正比,轴功率与转速的三次方成正比。当流量减小、转速下降时,其轴功率大幅度降低。例如当流量(与转速)下降到 50%时,轴功率下降到原值的 12.5%(理论值)。可见风机、水泵只要调速即可节能,调速与节能密切相关,效果十分显著。可是作为风机、水泵动力机的交流电机,其转速是不能调节的。应风机、水泵调速节能之需,近年来用于交流电机的各类调速装置得到迅猛发展。

风机、水泵调速运行的方式很多,按传动特性分类有机械调速装置和电气调速装置两大类。

机械调速装置包括液力耦合器与液粘调速离合器。

电气调速装置包括有变频调速、变极调速、串级调速、电磁滑差调速、转子串电阻调速和定子调压调速等装置。

机械调速是在电机额定转速下调节工作机转速,不涉及电气参数变化,因而适用于不同电压等级(380V、3kV、6kV、10kV)的同步电机和异步电机(笼型、绕线型)。适用容量范围由几十千瓦到数千千瓦。由于始终在额定转速下运行而使电机保持较高的效率和较好的功率因数,且对电网无干扰,连起动电流(冲击)也极小(使电机空载起动)。

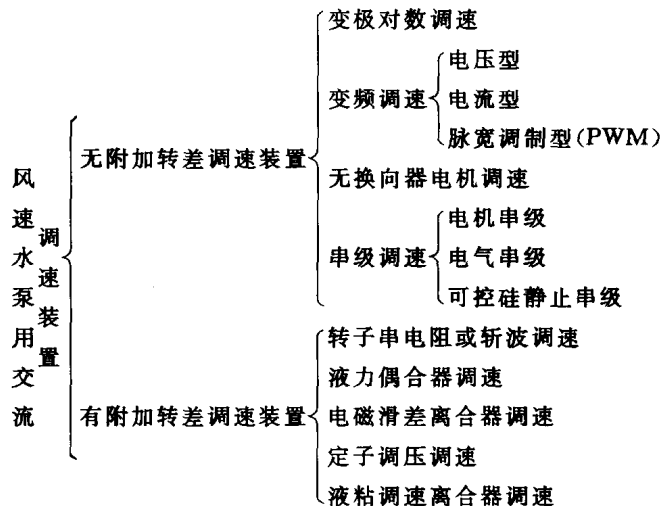
由于我国 200kW 以上的交流电机(320kW 尚无低电压产品)基本上全是高电压(3kV、6kV、10kV)电机(表 1-1),如此高等级电压的调速,对各类电气调速方式均难以达

表 1-1 电动机额定电压和容量范围

额定电压 /V	容 量 范 围/kW			
	同步电动机	异步电动机		直流电动机
		笼 型	绕线转子	
110	—	—	—	0.25~110
220	—	—	—	0.25~320
440	—	—	—	1.9~500
500~870	—	—	—	500~4600
380	3~320	0.37~320	0.6~320	—
3000	250~2200	90~2500	75~3200	—
6000	250~10000	200~500	200~5000	—
10000	1000~10000	—	—	—

到,即使有极少数达到者,则其高额投资也使用户望而却步。故我国目前高电压中、大功率(200kW 以上)的各类交流电机调速装置均为液力耦合器或液粘调速离合器。

从式 $n = \frac{60f}{p}(1-S)(1-S_T)$ 中可见各类交流电机调速系统除共有电机额定转差 S 外(同步电机除外),一些调速装置另有附加转差 S_T ,因此可按有无附加转差分类。



有以电机轴后(或工作机输入)转速有无附加转差来定义传动系统效率之高低。无附加转差者称高效调速装置,有附加转差者称低效调速装置。笔者以为还是以附加转差的有无分类,更妥贴一些。

众所周知,效率是指一个系统(或考察体)的输出功率与输入功率之比,就交流电机调速系统而言,则为系统的输出功率与从电网处输入功率之比。

对于交流电机调速系统在传动过程中可能有三部分能量损耗,即电源变换装置(变频、变电压)损耗、电机自身损耗(效率、功率因数、转差等)、调速装置损耗(附加转差损耗、自身效率)。论及效率时这三部分均须包括,而不应只考虑系统有无附加转差来确定“高效”或“低效”。

对于机械调速而言,没有电源变换装置损耗,电机自身损耗轻微(因始终额定转速),主要损失在于调速装置损耗(附加转差)。电气调速装置主要损耗在于电源变换装置损耗(如变频,尤其高电压变频),其次是电机自身损耗(低转速时总效率和功率因数均低,串级调速尤甚,见表 1-3),对于部分电气调速装置(如转子串电阻、定子调电压、电磁滑差)附加转差损耗为其主要损耗。

综上所述可见,对于深受用户欢迎的、在中大容量范围应用普遍的液力耦合器和液粘调速离合器应称之为“有附加转差调速装置”,以免“高效”、“低效”对使用单位有误导作用。

二、各种调速装置的特点

1. 变极对数调速

改变异步电机定子绕组的极对数 p ,可使电机同步转速 $n_0 = \frac{60f}{p}$ 改变,达到调速的目的。这种调速装置控制电路简单、易维修、价格低廉、功率因数高、没有高次谐波对电网污染、无附加转差损耗、效率高。但不能得到平滑调速,风机水泵不宜采用,在不严格要求连