

# 电气传动——信息、能源和运动的接口

马小亮

(天津电气传动设计研究所, 天津 300180)

**[摘要]** 电气传动是信息、能源和运动的接口。长期以来大家都接触它, 但对它是不是高新技术存在疑虑。文章试图从接口角度出发谈个人对该领域的认识, 望能促进人们的理解。文中讨论电气传动下列几个问题: 什么是电气传动; 在国民经济中的作用; 与其它学科的关系及发展方向; 在我国的现状及攻关方向建议。

**[关键词]** 电气传动; 接口; 信息; 能源; 运动

## 1 什么是电气传动

电气传动是研究如何通过电动机控制物体和生产机械按要求运动的学科, 在某些场合, 主要是小功率场合又常称为运动控制。它是电力电子和自动控制技术的主要应用领域之一。

信息技术的发展带动了整个科学技术的发展, 有力地促进了人类社会进步, 但信息不会直接转化为物质生产和物体运动, 必须通过各种机械的运动。拖动机械运动的电动机需要能源, 它要求将固定频率和电压的电能变成运动所需电压、电流和频率的电能。电气传动是信息、能源和机械运动三者间的接口<sup>[1]</sup>。现今人们对信息和能源非常重视, 热心于 CIMS (计算机集成制造系统) 为代表的新机械制造技术, 但它们之间的接口往往被忽略。

电气传动在人们生活和生产中无处不在, 但往往是隐性存在, 例如变频空调、模糊控制洗衣机、计算机外围设备、各种加工机械、电动车辆等, 都是电气传动技术在起核心作用, 但人们未必意识到它的存在。

电气传动是一个既老又新的学科。它始于 20 世纪初; 随着电动机的推广应用, 其控制问题逐渐从电机领域独立出来, 成为一个单独的领域。起初

只是一些简单的继电、接触、开环控制, 到四五十年代, 随着电机放大机和磁放大器的问世, 基于它们的闭环连续控制系统得到广泛应用, 改进了控制性能, 取得了良好效果, 使电气传动融入自动控制范畴。从 60 年代起, 随着电力电子技术的发展, 电力电子变换器取代了电机机组变换, 特别是 80 年代以来, 变频交流调速的发展, 使电气传动发展到一个全新的境界, 并融入电力电子范畴。今天的电气传动是一个集控制、电力电子、微电子、信息、材料和机械等学科新技术于一身的全新学科。

电气传动由调速和不调速两大部分组成。后者简单, 只控制电机起停, 不调速, 仍以继电接触控制为主, 近年来很多场合改用电量电子固态继电接触器并辅以 PLC (可编程序控制器) 控制。本文所介绍的调速传动, 主要有以下几类:

1) 工艺调速传动。指工艺要求必须调速的传动, 例如轧机、提升、机床、造纸、石化等许多从前用直流电动机的机械传动。

2) 节能调速传动。指风机、泵等以前不调速, 为节能而改用调速的机械传动。

3) 牵引调速传动。指轨道车辆和电动车等运动车辆的电传动。

4) 特种调速传动。例如数控机床和火炮等武

器的高精度传动；离心机、磨床磨头等超高速 ( $10^4 \sim 10^5$  r/min) 传动；特大功率的储能装置等。

5) 变速发电。它是一项用于风力、水力发电的新技术，其实质是工作于再生状态的变速传动。

## 2 电气传动在国民经济中的作用

1) 与产品产量和质量直接相关。例如，热带钢连轧机，在机械变化不大的情况下，主要依靠电气传动动态性能改进，轧速从 10 m/s 提高至 20 m/s，产量从 100 万 t/a 增至 300 万 t/a；提高电梯传动的加减速平滑性及准确平层性能，改善乘员的舒适感，速度从 1~2 m/s 增至 5 m/s 或更高。

2) 节能。我国发电总量的 60% 以上是通过电动机消耗的，其中一半以上用于各种风机和泵，用调速传动代替原有用风挡和阀门来调节流量和压力的方法，平均可节电 30%~40%，估计全年可节电数百亿千瓦小时，此外调速传动还可以改善锅炉的燃烧，节约大量燃料。

3) 改善环境。节能使锅炉二氧化碳和粉尘排放量减少；电动车辆的发展可减少汽车和摩托车废气排放；变速发电促进风力和水电的发展，为人类提供更多绿色能源；泵改用调速传动后，可减少阀门泄漏，有利于保护水质。

4) 改善传统工业和产品，创机电一体化新产品。机械制造和冶金工业是传统工业，电气传动在这些传统工业的改造中起着重要作用。数控及高性能伺服传动系统是机器人和 FMS (柔性制造系统) 的基础；冶金行业中轧机的改造主要是改传动及控制系统；交流调速的发展使电机结构简化；随集成化的提高，电力电子变换器越来越小，一大批变换器和电机及机电一体化的产品应运而生。

## 3 电气传动与其它学科的关系及发展方向

### 3.1 电气传动与信息技术

信息技术涉及信息的获取、传输、加工和应用。电气传动和这几方面都有密切关系，表现为测量、通讯和控制。下面介绍后两者。

3.1.1 电气传动与控制 电气传动系统是执行机构为电动机的控制系统，其特点是过渡过程快 (几十至几百毫秒)，属于快变化系统。控制领域的各种理论及策略，例如：经典控制、离散控制、现代控制理论、各种观测和识别技术、最优控制、自适应

控制 and 智能控制等，都在传动系统中得到应用，并取得好效果。现在的工作有两大方向：

1) 如何利用新理论和策略改进传动系统本身的性能。传动系统的任务是控制电机的力矩、转速和位置。电机，特别是交流电机本身电磁关系复杂，存在非线性和强耦合，电机的负载及惯量也常变化，给控制带来许多困难。现已有一些好的控制方法，例如矢量控制，直接力矩控制等，能解决这些问题，被广泛应用，但它们对电机和负载参数的依赖较强，于是人们纷纷探讨如何利用新技术设计鲁棒性强的系统。速度和位置传感器是传动系统的薄弱环节，如何用观测技术设计无该传感器的系统是另一热门话题。

2) 如何利用新理论和策略优化传动系统设定。着眼点不在于传动系统本身，而在于如何通过改变设定来改善产品质量，降低消耗，节约能源，获取最大效益。例如在钢板厚度控制、板形控制系统中利用神经元技术帮助建立和修改数学模型，以减小钢板厚度偏差、改善平整度，取得很大效果。又如在锅炉送风机传动系统中利用模糊控制寻找最优工作速度，改善燃烧，节约大量电能和燃料。该方向比前者更实用、有效，深受使用部门重视。

另外一些设备制造商近来致力于开发传动和自动化通用的控制器。过去自动化多用 PLC 或工控机，强调逻辑控制和通讯，有一些运算调节功能，但较慢，功能少；传动多用专用控制器，强调实时调节和运算。新控制器综合了二者的需要，硬件统一，软件共用，传动和自动化的界面已很难划分。

### 3.1.2 电气传动与通讯

1) 电气传动已从单机手动操作和设定发展到按照最优工艺全生产线或车间所有设备自动协调工作。为此必须通过通讯总线把传动设备与传动设备，传动设备与上级控制机，操作及设定设备和检测仪表联在一起，经串行数字通讯彼此交换信息。现已有多种总线，但各厂家的通讯协议不同，很难把不同厂家的产品联在一起，迫切需要解决协议的统一及相互兼容问题。

2) 随着技术进步，传动设备越来越复杂，一旦发生故障，现场维护工程师很难诊断和处理，需要专业工程师用专门仪器来解决，导致事故处理不及时，影响生产，也影响了新技术产品的推广。现在，一些跨国大公司正研究开发全球故障诊断系统，一旦发生故障，经国际互联通讯网络把故障设

备和维修中心的诊断仪器相联，及时查找原因，给出解决办法。进一步发展还可实现远距离调试。

### 3.2 电气传动与能源

机械运动需要能源。来自电网的固定的电能频率和电压，往往不能满足要求。近年在电气传动系统中都采用电力电子变换器将其转换成运动所需的电压、电流和频率。另一方面，电气传动的发展又会影响电力系统（输、发电），电气传动与能源的关系表现在与电力电子和电力系统两方面。

3.2.1 电气传动与电力电子 目前用得最多的电力电子变换器是 IGBT 变频器，正在和有待研究开发的主要工作有下列两方面。

1) 智能化集成电力电子模块。中小功率领域重点是提高集成度。已有智能功率模块 IPM，将功率器件 IGBT 和它的驱动保护及诊断电路集成在一个模块中，目前正在扩大功率范围。近年来又提出集成电力电子模块 PEBB 计划，目标是把整个系统的硬件集成在一个模块中（“All in One”）<sup>[2]</sup>，包括强电部分的功率开关器件、集成无源元件、母线、散热器及弱电部分的表面贴装元件（驱动、控制、检测、保护等）。这种模块研究开发成功将使装置体积和成本减到最小并大大提高可靠性，为机电一体化产品发展打下基础。关键问题有：分布电源母线的结构和稳定，嵌埋件的控制，系统控制和通讯，可靠性，冗余和容错，热问题，使电容电感极小化，三维封装及集成系统的 CAD 等，涉及物理、材料、电子、控制、通讯等多个学科领域。

2) 高压大功率变频。研究开发的重点是，新型高压大功率电力电子开关器件的研制和应用；大功率多电平变频器拓扑研究，寻求网侧无功和谐波小、输出  $dV/dt$  低、串并联简单的方案；低电感叠层母线及电磁兼容等。涉及非线性，电磁场等许多电工理论问题。

### 3.2.2 电气传动与电力系统

1) 电气传动从电网获取能源，同时也产生大量无功和谐波污染电网，牵引电网还存在严重的三相不平衡问题，随着调速装置在电网中占的比例增大，问题愈加突出。主要从两方面着手解决，一是减小传动装置产生的无功和谐波—变换器拓扑研究，一是开发新型有源和无源补偿和吸收装置。

2) 变速发电<sup>[3]</sup>。变速发电是指在发电机励磁绕组中通以低频交流电，使之在非同步转速下仍发 50 Hz 交流电，优点是：对应于不同风力和水位，

发电机可以工作在不同转速，使原动机均工作于最高效率点；对于小水电和风力发电可省去复杂昂贵的调整机构；对于大水电可免去变极对数之麻烦；大机组还可利用转子的动能，短时间里发出大量可快速连续调节的有功和无功，稳定电网。它是电力领域热点之一，所用技术是传动领域异步机双馈。

3) 蓄能<sup>[4]</sup>。为平抑电力系统中负荷的峰谷差异，需要大批蓄能电站，谷期电动工作蓄能，峰期放能发电。现用的抽水蓄能机组实质上是工作于 I/IV 象限（电动/再生）的巨型传动装置，虽然它发电时与普通水电站无大区别，电动时电机可直接接电网恒速抽水，但为起动这庞大的机组需大功率变频起动装置。若将抽水蓄能改为巨型飞轮蓄能，占地及土建量小，深入负荷中心，并可快速连续调节有功及无功，是最有效的 FACTS（柔性输电系统）设备之一，它是 I/II 象限（电动/再生）运行的巨型传动装置。5 000 MW·h 装置在开发中，飞轮直径 320 m，按常规方法建造这样庞大的飞轮是不可能的，为此采用了机电一体化方案，整个飞轮被设计成环形，没有轴、轴承和轴辐，电机绕阻装于环上，环形飞轮水平放于真空水泥环形通道中，通过磁悬浮使飞轮浮起。

### 3.3 机电一体化

电气传动的发展为机械、电机和传动装置的一体化，以及更新传统机电产品提供了条件。

#### 1) 电机和电气传动装置的一体化

比较成功的例子是电动车用新型传动装置，它摆脱了原有电机框框，统一考虑和安排电机和电气传动装置，取得很大进展。

#### 2) 电机和机械一体化的几个实例<sup>[5]</sup>

a. 传统的矿井提升机，电动机和机械分开，在电机轴上带一滚轮，提升钢绳绕在滚轮上。若取消滚轮，把电动机改为外转子式，将钢绳直接绕在外转子外壳上，机电融合为一体。早在 30 年代就有此想法，由于当时只能直流调速，整流子无法解决，未能实现，直到 80 年代改用交流调速，电机结构简单了，方得以实现。

b. 随着建筑物高度的增加，电梯钢绳越来越重，建筑物难以承受。把电机改为线性电机，线圈分别装在通道及轿厢壁上，推动轿厢上下运动。这种电梯无钢绳，解决了上述问题。

c. 悬浮高速列车是 21 世纪的重要交通工具，也是典型的机电一体化产品，它利用磁悬浮及线性

电机驱动两项传动技术, 去掉传统列车的轮子和铁轨, 获得了高速度。

#### 4 我国的电气传动现状及对近期攻关方向的建议

我国电气传动行业从无到有, 几十年来已有很大发展, 但和先进国家相比仍有很大差距, 表现在以下几方面。

1) 各种新技术、新名词传到我国很快, 讨论热烈, 但应用研究, 特别是应用基础研究严重落后。

2) 传动设备供应商忙于成套, 系统集成能力不比国外逊色, 但柜子里装的主要设备(变频器、控制器等), 几乎全部进口。

3) 产品开发、设计部门忙于应付, 多在搞进口产品的推广应用, 无力开发自己的产品。

4) 对电气传动在国民经济中的作用重视不够, 对它是否属于高新技术存在疑虑, 导致各方面的支持不足。为了照顾各方面的利益, 本来就很少的资金又被分散, 谁也做不成大事, 效果不好。

5) 电力电子器件中晶闸管制造能力可以和国外相比, 但新器件 IGBT、IPM 等几乎为零, 电力电子专用的电感、电容、电阻等配套元件仍依赖进口。投资不足和电力电子与微电子分家是主要原因。元器件落后也影响整机发展。

6) 专业分工过细, 妨碍一体化产品的问世。

电气传动范围广, 问题多, 资金有限, 不可能全面出击, 应选择对国民经济影响大和力所能及的方向作为重点, 为此建议:

1) 着眼于新型高压电力电子开关器件的大功率变频传动。中小功率变频器国外已生产十多年,

规模大, 生产线自动化程度高, 我国仍处于手工作坊阶段, 在该领域很难和外国竞争。用高压器件的大功率变频国外起步不久, 也是人工装配和测试, 会有我们一席之地。大功率风机和泵调速节能效果显著。

2) 利用新控制理论和策略优化传动系统的设定。该方向效果显著, 易获使用部门支持, 又促进理论发展。

3) 大力促进机电一体化。主要是宣传、组织和协调, 发现苗头优先支持。

4) 着手集成电力电子模块基础研究。我国现在开发该模块尚不现实, 但它是方向, 应开始基础技术准备。

5) 治理对电网的污染。

6) 采用双馈技术。用于风机和泵传动, 以降低调速装置容量和造价; 用于风力和水电, 以变速发电。

#### 参考文献

- [1] 蔡宣三等. 电力电子学的发展战略调查研究报告[J]. 电工技术学报, 1999, 14 (增刊): 1~21
- [2] Lee F C. Power electronics system —— A integrated module approach (Digest) [J]. 电工技术学报, 1999, 14 (增刊): 65~66
- [3] Morikawa R. Basic performance of orthogonal axes excitation synchronous generator and its power system stabilization effects [R]. IPEC-Yokohama '95. 169~174
- [4] Tawara T. Development of electric energy storage using ring shape flywheel [R]. IPEC-Yokohama '95. 1101~1106
- [5] 马小亮. 电力电子技术在一一般工业中的应用 [J]. 电气传动, 1998, 28 (6): 3~8

## Electrical Drive — an Interface Among Information, Power and motion

Ma Xiaoliang

(Tianjin Design & Research Inst. of Electrical Drive, Tianjin 300180, China)

[Abstract] Electrical drive is an interface among information, power and motion. People have contacted it for a long time, but are still in doubt whether it belongs to high tech. The author tries to introduce personal view on this field in this paper and hopes to promote one's understanding on it. Following problems are discussed: what is electrical drive; its effects on national economy; relations with other fields; the state-of-the-are of electric drive R & D in China and is developing trends.

[Key words] electrical drive; interface; information; power; motion