

电机学

上



73.2
W817
上

高等学校教学用书



电 机 学

上 册

吳大榕 著

本书大体上是按照前高等教育部頒布的电机学教学大纲編写的。全书分上下两册，共有五篇，編排次序系按直流电机—变压器—感应电机—同步电机—交流换向器式电机系統，在满足基本要求的前提下，篇幅酌加压缩，适合两学期教学之用。

上册包括直流电机和变压器两篇，分十六章，在說明电机的一般原理后，先述直流电机的构造、激磁、电枢繞組、电枢反应等，再分章专述直流发电机和电动机，并对换向理論作了較詳細的介紹。在第二篇中着重說明了变压器的电路理論、磁路系統、运行方式和暫态过程等，使讀者容易得到比較完整的概念和正确的理解。

本书可作高等工业院校有关专业的教材或参考书；如經节略，也可作为中等技术学校有关专业的教学用书。

电 机 学 上 册

(根据水利电力出版社紙型重印)

*

中国工业出版社出版 (北京修德閣路丙10号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第110号)

北京新华印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印張 $9 \frac{9}{32}$ · 字数 239,000

1959年10月北京第一版

1961年5月北京新一版·1961年5月北京第一次印刷

印数 0001—10030 · 定价 (10) 1.60 元

統一书号: 15165 · 26 (水电—14)

序

本书大体上系依照前高等教育部在1955年8月所頒布的电机学教学大綱而編写的，可供三个专业共同应用，即电机及电器专业、发电厂电力网及电力系统专业和工业企业电气化专业。編写本书的目的，系在学习苏联教材的基础上，进一步結合我国具体实际，試行自編教材的一种尝试。苏联教材虽有明显的优点，但往往篇幅頗长，譯文艰涩，容易引起学生負担过重。本书的主要特点，即在滿足基本要求的前提下，尽量压缩篇幅，精炼文字，重排章节次序，和改进叙述方法。本书可供两个学期之用，所需課时数約为120~140学时，学生在每一周内所需閱讀的教材篇幅控制在一万字左右。本书先以讲义的形式，在南京工学院各有关专业的各个班級上試用了两年，效果良好，基本上消除了学生負担过重現象。在重庆大学及上海交通大学的个别班級上也曾参考使用。今后各兄弟学校如果試用，尚希将使用情况及批評意見随时告知，以便再版时修訂。

本书的編排次序，随着理論的发展，仍按直流电机—变压器—感应电机—同步电机—交流换向器式电机的系統。但为适合各专业的不同要求，使能更好地和其它課程配合起見，在开始叙述交流电机时，先列“三相繞組及旋轉磁場”一章，此后可視情况先授感应电机，或先授同步电机，整个系統不致受到影响。此外，如有中等技术学校或有对本課程要求較低的其它专业采用本书时，更可将某些章节的全部或一部分刪去，仍可保持讲授系統的完整性。本书在章末未附习题，但为闡明原理和指示計算方法起見，在正文中列有已解出的例題36則，供教师和学生参考。

本书中所列各种电机的具体資料和数据，大多参照苏联資料，也尽可能反映我国当前的电机生产情况。由于作者見聞有

限，挂漏之处，在所难免，尤其在我国的工农业生产大跃进的一年，在贯彻党的教育方针、进行教学大改革的时代，作者的大胆尝试是难免要貽笑大方的。作者诚恳地希望广大读者随时指出本书的错误和缺点。

在编写过程中，承重庆大学谢兴仪同志和交通大学裘益鍾教授提出不少宝贵意见，谨致最深切的谢忱。

吳大榕

1959年3月于南京兰园

目 录

緒論

1. 电机在工业中的地位(1)
2. 电机初期发展簡史(2)
3. 现代电机制造工业的发展(4)
4. 我国电机制造工业的发展(6)

第一篇 直 流 电 机

第一章 电机的一般原理

1. 电机的意义和类别(9)
2. 电机中的功率关系(11)
3. 电机的基本作用原理(13)
4. 电机的可逆性原理, 发电机作用和电动机作用(18)
5. 电机构造的一般原理, 五种綫路系統(22)
6. 电机的型式(24)
7. 电机的制造材料(25)

第二章 直流电机的构造、作用原理和激磁方法

1. 直流电机的构造(29)
2. 换向器和电刷的作用(34)
3. 电刷間的感应电势(35)
4. 直流电机的激磁方法(39)
5. 自发电机的建起过程(41)

第三章 电樞繞組

1. 电樞繞組的型式(44)
2. 一些术语的定义(46)
3. 迭繞組(49)
4. 波繞組(54)
5. 槽电势的星形图和多边形图(60)
6. 均压联接綫(63)
7. 蛙式繞組(67)
8. 同槽式繞組和异槽式繞組(68)
9. 繞組型式的比較及其选择(68)

第四章 磁化曲綫的計算

1. 电机的磁化曲綫(69)
2. 磁化曲綫的实驗測定(70)
3. 直流电机磁路的組成部分(71)
4. 空气隙所需磁势(73)
5. 齿所需磁势(75)
6. 其他各部分所需磁势(78)
7. 磁路計算举例(79)
8. 場极漏磁通(84)

第五章 电樞反应

1. 电樞电流的磁势(85)
2. 空气隙中的磁通密度分布曲綫, 电樞反应的影响(88)
3. 电樞磁势的計算(92)
4. 交軸电樞反应和順軸电樞反应(93)
5. 磁性飽和的影响(96)
6. 补偿繞組(98)
7. 电樞漏磁通(99)

第六章 直流发电机

1. 功率和轉矩的平衡方程式(100)
2. 特性曲綫的种类(102)
3. 他激发电机(102)
4. 并激发电机(104)
5. 串激发电机(108)
6. 复激发

- 电机(109) 7.直流发电机的并联运行(113) 8.电机的各种损耗(117)
9.效率(121)

第七章 直流电动机

- 1.电压方程和功率平衡方程(124) 2.速率和转矩(125) 3.直流电动机的工作特性(128) 4.直流电动机的起动(135) 5.直流电动机的速率调节(141) 6.直流电动机的制动(143) 7.各种直流电动机的应用范围(144)

第八章 换向的理论和方法

- 1.换向过程概述(145) 2.火花(146) 3.正在进行换向的元件中的电势、电流和电阻(147) 4.换向元件的基本线路方程(150) 5.直线换向(151) 6.延迟换向和加速换向(153) 7.电抗电势的计算(154) 8.电枢反应的影响(156) 9.换向极的应用(157) 10.用移动电刷的方法帮助换向(160) 11.新的换向理论——交界膜理论(161) 12.电刷(162) 13.影响换向的机械因素(163) 14.卡茜雅诺夫的换向极实验调整法(164)

第九章 电机的定额、温升、发热和冷却

- 1.电机的额定容量(166) 2.电机的发热和测定温度的方法(168) 3.电机各部分的极限容许温升(169) 4.均质固体的发热理论(171) 5.电机的散热(173) 6.温升的计算(175) 7.电机的冷却方式(176)

第十章 特种直流电机和我国制造的直流电机

- 1.罗逊堡交磁发电机(178) 2.电机放大机(180) 3.电机调节机(182) 4.我国制造的直流电机(187)

第二篇 变 压 器

第十一章 变压器的类别和构造

- 1.变压器的类别(189) 2.变压器的基本构成元件(190) 3.变压器的铁芯(191) 4.变压器的绕组(193) 5.变压器油(194) 6.变压器的温度控制和过热保护(195) 7.变压器的发热情况和冷却方式(197) 8.油浸自冷式变压器的油箱的各种形式(198) 9.绝缘套管(202) 10.变压器的装配图(203)

第十二章 变压器的电路理论

- 1.基本作用原理(204) 2.感应电势的方程式(205) 3.理想变压器及其矢量图(206) 4.实际变压器的矢量图(208) 5.变压器的简化矢量

图(212) 6. 变压器的基本方程式(213) 7. 等值线路(216)

第十三章 变压器的磁路系统

1. 单相变压器的激磁电流(220)
2. 三相变压器的磁路系统(223)
3. 变压器绕组的标志方法(225)
4. 绕组联接组(226)
5. 标准绕组联接组(230)
6. 在各种绕组联接组中的三次谐波电流(231)
7. 各种绕组联接组的应用范围(234)
8. 漏抗的计算(234)

第十四章 变压器的运行

1. 空载运行(238)
2. 短路运行(239)
3. 电压调整率(241)
4. 变压器的效率(244)
5. 变压器的调压(246)
6. 变压器的并联运行(248)
7. 变压器的不平衡运行(253)
8. 变压器的V形联接法(258)

第十五章 变压器的暂态过程

1. 合闸冲击电流(259)
2. 副绕组突然短路(261)
3. 变压器绕组上的过电压现象(265)
4. 变压器的过电压保护(268)

第十六章 三绕组变压器、自耦变压器及其他

1. 三绕组变压器(271)
2. 自耦变压器(277)
3. 其他特种变压器(280)
4. 变压器制造的近代发展(282)
5. 我国制造的变压器(283)

緒 論

0-1. 电机在工业中的地位

电能是能量的一种形式。电的发现很早，但电能工业中的应用，开始于实用电机的誕生，只是最近一百年間的事情。和其它各种形式的能量相比，电能显示着无比的优越性，因为它适宜于大量生产、集中管理、远道傳輸和自动控制。沒有电能，现代工业的发展是不可想象的。列宁的有名公式指出，共产主义就是苏維埃政权加上全国电气化。在我国大跃进的年代里，也是以电力为先行。由此可見在社会主义建設事业中发展电力的重要性，而电力的发展又必須以发展电机制造工业为基础。

我国在解放以前，长期处于半封建半殖民地的地位，一百年来，饱受帝国主义的侵略和剝削；生产萎縮，經濟落后，工业基础十分薄弱，由旧社会所遺留下来的电力事业是微不足道的。在1949年解放时，全国仅有发电設備容量185万千瓦，每年发电量仅达43亿度。这样微小的数字，与我国辽阔的土地和众多的人口是显然极不相称的。解放以后，在党和政府的正确领导下，最初是修复殘旧設備，恢复发电能力，接着就进入第一个五年計劃，大力建立新电站，我国的电力事业发展得異常迅速。1958年为我国大跃进的一年，电力事业也和其它各种工业生产一样，以雄迈的步伐飞跃前进。

除了作为电站和变电所的主要设备以外，电机在各种工业企业中都有广泛的应用。在机械制造业中，各种工作母机都需由一台或多台不同型式和容量的电动机来拖动。在冶金工业中，高炉和平炉都需由电机来服役和控制。大型轧钢机常由容量高达5,000瓩或更大的直流电动机来拖动。在化学工业中，容量高达数千瓩的同步电动机和感应电动机用于拖动大型压缩设备。用于电解的直流发电机可以供给高达数万安的巨大电流。在运输事业中，随着城市电车的发展和铁道干线的电气化，需要应用能够满足各种特殊要求的牵引电动机。总之，在一切工业企业中，无论是车间供电、运输传送、吊车起重、抽水鼓风、粉碎搅拌等等，任何一项工作都离不开电机。此外，现代化的工业企业，都在逐步走向自动化或半自动化的道路，各种容量极小的微电机，又为自动系统的主要元件。

当然，除了在工业上的应用以外，电机在农业、国防、航运和其它事业中，也都起着日益重要的作用。

0-2. 电机初期发展简史

电机的初期发展大体上可以分为四个阶段：（1）电磁感应定律的发现，（2）直流电机的发展，（3）单相交流电的应用，（4）三相交流电的应用。至此，各种电机的基本型式全已具备，此后的发展，便转入理论上的探讨，材料、工艺和设计方法的改进，以及随之而来的电机性能的改善。直到最近，在自动控制技术中，电机又获得了新的应用。

（1）电磁感应定律的发现 在1821年，法拉第首先用模型表演了把电能转变为机械能的可能性，也就是说，他发现了电动机作用原理。但在那时，由于受到了蒸汽机的影响，科学技术工作者都致力于制造具有往复运动的机械。直到1834年，才由彼得格勒科学院院士雅可比发明了具有连续旋转运动的电动机。由于缺乏发电机作为电源，雅可比的电动机不能立即推广。

在1831年，法拉第又发现了把机械能转变为电能的电磁感应

定律。这一定律的发现，奠定了工业电气化的基础。在法拉第所发现的基本定律指导之下，早在1832年，皮克西弟兄即已制成了第一台原始形式的发电机。

(2) 直流电机的发展 初期的直流发电机仅供弧光照明及电气化学工业之用。在1845年，开始以电磁铁代替永久磁铁。早在1852年，就有应用自激原理的想法，直到1867年，才在工业生产上完成自激发电机。1860年，帕契諾季提出了带有环形繞組的有齿电樞，但未被应用。1870年，葛拉姆制成了具有环形电樞的直流电机。至1873年，环形电樞又被鼓形电樞所代替。至此，直流电机的结构已取得现代电机的基本形式。

直流电动机迅即应用于城市电气铁道。在1879年，西門子在柏林展覽会上初次展出了电气铁道的模型。至1882年，即由台普萊建成了远距离傳輸直流电能的装置。这一发见开辟了广泛应用电能的新的远景，正如恩格斯所指出的，由于这一发见，生产力将要无限增长，使资产阶级愈来愈无法控制这种生产力^①。

(3) 单相交流电的应用 为要扩大用电区域和輸送距离，逐渐感到应用直流电时不能满足要求。因此，在上一世紀70年代初期，已有設法应用交流电的尝试。在1876年，雅勃洛契可夫初次发明了应用交流电的照明装置，称为“雅勃洛契可夫之烛”。由于他所发明的电烛需用交流电源设备，雅勃洛契可夫复于1878年完成了原始形式的同步发电机，再于主綫路中串联一具有开启磁路的变压器。这便是应用变压器的开始。1882年，另一俄罗斯发明家烏薩金在全俄工业展覽会上展出了另一变压器，与雅勃洛契可夫的变压器原理相同，构造稍异。他指出了交流电能不仅可以用于照明，也可轉变为机械能和热能。

在1884年，英国霍布金森弟兄发明了具有閉合磁路的变压器，这种变压器基本上具备了现代结构的形式。1885年，匈牙利岡茨公司推广了单相变压器的实际应用，并初次引用了“变压器”这一名詞。这时单相交流电的应用获得了迅速的发展。

① “馬克思恩格斯全集”俄文版，第27卷第289頁。

(4)三相交流电的应用 1885年,意大利物理学家費拉利斯发现了应用两相电流产生旋轉磁場的原理。一年以后,根据这一原理,費拉利斯本人和在美国的坦斯拉几乎同时制成了两相感应电动机的模型。从1889年至1891年,天才的俄罗斯工程师多里沃-多勃罗沃尔斯基做了一系列的工作。他发明了三相感应电动机,应用了三相交流制的輸电系統,并发明了三相变压器。1891年在曼因河畔的法兰克福城举行的国际电工技术展覽会上,即已展出了从拉芬鎮至法兰克福城长达175公里的三相輸电綫路,輸送电压为15千伏,功率达200瓩。

随着多里沃-多勃罗沃尔斯基的发明,三相交流制的优越性迅即为举世所公認。此后,应用三相交流制的发电站便迅速发展,高速運轉的汽輪发电机不久便代替了以蒸汽机作为原动机的发电机。

从19世紀末至20世紀初,包括交流換向器式电动机在內的各种电机均已陸續发明。电机的初期发展至此告一段落。

0-3. 現代电机制造工业的发展

进入20世紀以后,在电气化的基础上,巨大的工业企业不断出現,且发展得更为迅速。电机的发展也就进入了新的阶段。随着工业要求的增长,单机容量不断提高。由于磁性材料和絕緣材料的改进,以及設計技术的进一步掌握,电机的外廓尺寸和重量也就不斷减小,例如,从1900年至1920年的20年期間,如按单位容量計算,发电机的重量下降至56%,电动机的重量下降至41%,变压器的重量下降至41.5%。

单机容量的提高,可以汽輪发电机为例說明。在1900年,单机容量不超过5,000千伏安;至1920年,轉速为3,000轉/分的汽輪发电机的容量已达25,000千伏安。而轉速为1,000轉/分的汽輪发电机的容量則达60,000千伏安。在1937年,苏联“电力”工厂即已制造了在当时說来为世界上最大的应用空气冷却的汽輪发电机,单机容量高达100,000瓩,轉速为3,000轉/分。氫气冷却在1928

年初次应用于同步补偿机，而在 1937 年则推广应用于汽轮发电机。应用了氢冷以后，转速为 3,000 转/分的汽轮发电机的最大容量可达 150,000 瓩。最近数年来，电机的冷却技术有了新的发展，表现为在导线内部采用气体冷却或液体冷却，于是电机的温升便不再为限制它的容量的主要因素，单机容量便更可为提高。世界上已制成的巨型汽轮发电机的单机容量高达 260,000 千伏安，采用定子导线内部油冷，转子导线内部氢冷。另有单机容量高达 320,000 千伏安的汽轮发电机，采用定子导线内部水冷，转子导线内部氢冷。定子和转子都用水内冷的办法，各国都在进行研究。最近苏联已设计成功容量高达 750,000 瓩的汽轮发电机。

水轮发电机的制造也有很大的发展。在 1938 年，苏联“电力”工厂已经制成了容量为 68,750 千伏安的水轮发电机。目前世界上已投入运行的最大水轮发电机安装在苏联古比雪夫水力发电站，单机容量为 105,000 瓩。正在建设中的布拉茨克水力发电站，所采用的单机容量为 200,000 瓩。正在设计中的克拉斯诺扬斯克水力发电站，单机容量为 300,000 瓩。

由于电能的生产日趋集中，电力系统的容量不断扩大，所需的变压器的技术条件也就更为复杂。尤其在绝缘结构和过电压保护方面，近年来颇有新的发展。每台变压器的容量及其电压等级都在迅速提高。苏联已经制造了用于古比雪夫-莫斯科远距离输电线路的巨型超高压单相电力变压器，容量为 123.5 兆伏安，电压为 400 千伏。民主德国也已生产了容量为 125 兆伏安，电压为 220 千伏的三相电力变压器。

除了在结构和工艺方面的技术改进以外，新的材料的应用也对电机的现代发展起了很大的促进作用，例如，在磁性材料方面冷轧钢片的推广应用，及在绝缘材料方面采用环氧树脂和硅有机绝缘等。

随着生产过程中自动化和遥控技术的发展，在本世纪 30 年代末期即出现了各种型式的电机放大机，如交磁放大机和自激放大机。这类电机已在现代工业中获得了广泛的应用。此外，作为控

制元件应用的微电机也在迅速发展着；这类电机的型式很多，最小的容量仅只数瓦。

0-4. 我国电机制造工业的发展

旧中国的电机制造工业虽有30多年的历史，但因当时的中国处于半封建半殖民地的地位，反动政府对工业生产根本不重视，又在帝国主义的倾销和压迫下，民族工业不可能得到应有的成长和发展。伪资源委员会虽也兴建了一些所谓“国营”工厂，实质上也只是帝国主义和官僚资本勾结起来压榨人民的工具。因此，在解放时遗留下来的工厂大多数只是一些修配式的小工厂，其特征是设备简陋，产品容量小，型式混乱，技术标准不统一。解放前所生产的直流发电机最大不过200瓩；汽轮发电机和水轮发电机从未生产过；电动机最大不到300马力；变压器的最大容量不过2,000千伏安，最高电压不过33千伏；其它零星电机也为数很少。总之，在解放时，我国电机制造工业的基础是十分薄弱的。

解放以后，在党和政府的正确领导下，和其他各种工业一样，我国的电机制造工业获得了蓬勃的发展。最初三年，即从1949至1952年，为恢复生产时期；那时的最大产品为3,000瓩的水轮发电机，300瓩的直流电机和940瓩的感应电动机。

从1953年至1957年的第一个五年计划期间，我国的电机制造工业进入了迅速发展的时期。在1952年12月，党正确地提出了并且贯彻执行了“学习苏联先进经验，推行苏联技术标准”的技术发展方针，全面地掀起了学习苏联电机制造工业的先进技术的高潮。由于苏联和其它兄弟国家给予我们的技术合作，尤其是苏联的无私援助，我们获得了很多技术资料并学习了先进经验，使我国电机制造工业的技术水平得以迅速提高。在苏联专家的帮助下，我们参考了苏联供给的技术资料和实物产品进行仿制。在第一个五年计划期间，电机方面共完成了新产品7,500种以上。在仿制过程中，我们统一了产品的型式和技术标准，掌握了一系列的设计方法和先进工艺，同时还培养了大量的技术工人和技术干部。

在第一个五年计划期间，我国已试制完成的主要产品如下：

- (1) 水輪发电机 容量从800~15,000瓩。
- (2) 汽輪发电机 轉速为1,500轉/分的有750瓩及1,500瓩二种；轉速为3,000轉/分的有2,500瓩、6,000瓩及12,000瓩三种。
- (3) 与柴油机配套供应的同步发电机 容量为240~2,000瓩，轉速为300~1,000轉/分。
- (4) 同步补偿机 容量有5,000千伏安及7,500千伏安二种。
- (5) 同步电动机 容量为250~2,500瓩。
- (6) 感应电动机 0.6~100瓩系列，防护型及封閉型；2~100瓩，供起重及冶金用；2.5~100瓩，防爆型；中型75~1,000瓩，轉速为500~1,500轉/分；大型190~2,200瓩。
- (7) 直流电机 0.25~200瓩均能生产，最大容量达1,500瓩。
- (8) 特种直流电机 包括起重及冶金用直流电动机1.6~300瓩；电解用直流发电机96~450瓩；电镀用直流发电机3~30瓩；无軌电車用直流电动机37.5~60瓩；电机放大机；調节机。
- (9) 变压器 最大容量为40,500千伏安，154/66/6.6千伏三相三繞組变压器；20,000千伏安，200/66千伏单相变压器。

1958年为我国大跃进的一年，电机制造工业也就无例外地取得了更大的成就。最近已制成的有72,500瓩的水輪发电机及25,000瓩的汽輪发电机。正在制造中的有容量更大的水輪发电机和汽輪发电机。变压器方面，最近已制成容量极大、电压极高的三相三繞組变压器。

从以上的具体数据可以看出，我国电机制造工业的发展速度是令人兴奋的。除了容量的提高以外，产品的质量也在不断改进。在制造过程中，我們大力采用了先进技术，推广了新的工艺措施，如綫圈真空处理、硅鋼片塗漆机械化、感应电动机轉子压铸澆鋁，金工方面推广高速切削、模具钳工机械化等等。材料方面的改进也有显著的成績，如采用高强度漆包綫、硅有机絕緣、冷轧硅鋼片等等。

今后我国的电机制造工业更将进入新的阶段，即将由仿制产

品轉入自行設計，使能更好地滿足我國工業發展的具體要求。為此我們必須大力開展試驗和研究工作。在全國一盤棋的指導思想之下，各地的製造工廠、研究單位、高等學校和中心試驗所等，必須相互配合，充分協作，共同來解決在今後生產中可能遇到的一系列的技术問題。同時我們也不能忽視有關理論方面的研究。我們的成就是巨大的，但我們決不可驕傲自滿，必須認識到，今後的任務仍是艱巨的。我們相信，在黨的領導之下，在全國人民的努力之下，我國的電機製造工業在不太長的時期內趕上並超過國際水平是有充分把握的。

第一篇 直流电机

第一章 电机的一般原理

1-1. 电机的意义和类别

当我们說到机器两字时，常常联想到能量。但是机器却并不能产生能量。机器仅只是一种机构，能把能量的某一种表现形式，轉換成为另一种表现形式，使在特殊的规定情况下，更能适合我们的目的，更其便于利用。能量的形式有多种，如热能、光能、化学能、机械能、电能、原子能等都是。随着人类社会的发展，人们所能控制的能量种类也愈多。火的发明和利用，在原始社会中具有极大的意义，它使人类脱离了蒙昧时代。蒸汽机的发明，使我们能把儲藏在煤炭中的化学能轉变为机械能来利用，因而产生了产业革命。电能的广泛应用，奠定了近代物质文明的基础。原子能的和平利用，更将为今后的人类社会开辟无限美好的未来。自然界的能，在被人类控制以前，不但是浪费，有时且会造成灾害；但如被人类控制且加以利用后，便会成为富源。例如，把淮河治好以后，便能变水患为水利。工程师的职责，并不是要創造能量，而是要把自然界的能量更合理、更经济、更有计划地加以利用。在設法利用各种自然能的过程中，能量的轉变和传递，常借机器来完成。

由于机器本身并不是能源，任何机器都必须一方面有能量輸入，另一方面才会有能量輸出。当能量通过机器的时候，通常有内部的損耗，因此，在同一時間内的能量輸出总比能量輸入为小。能量輸出和輸入的比率，便叫做机器的效率。顾名思义，电机必須和电能有关系。任何一种电机的輸出能量或輸入能量，至少必須有一方为电能，或者两方都为电能，但有不同的电压、或