

73.26
SB7

73.26
SB7B

《国外机械工业基本情况》参考资料

变 压 器

沈阳变压器研究所

第一机械工业部科学技术情报研究所

内容简介 本资料为《国外机械工业基本情况》的变压器部分，共十五章。主要内容是介绍国外变压器行业和企业发展概况，对各种变压器、电流互感器、超高压并联电抗器、调压器等产品的现状和发展作了较详细的介绍，并简略地介绍了国外变压器的制造工艺和关键设备、新材料和新技术的研制和应用、科研动向以及有关高压试验技术。

可供本专业各级领导干部、工程技术人员和教学工作者阅读和参考。

变 压 器

沈阳变压器研究所

(内部资料)

*
第一机械工业部科学技术情报研究所编辑出版

北京印刷二厂印刷

北京市中国书店 上海市科技书店 重庆市新华书店

经 售

*

1981年2月北京

代号：79—67·定价：2.30元

出 版 说 明

党中央向全国人民提出了新时期的总任务，全国从上到下一心一意搞四个现代化。机械工业要适应“四化”的要求，必须为国民经济各部门提供现代化的技术装备。为此，需要研究和学习国外机械工业的先进技术和经验。在这种形势下，我们组织有关单位编写一套《国外机械工业基本情况》参考资料。这项工作第一次开始于1973年，1975年基本完成。这次是第二轮，在内容和范围上都比上次有所充实和扩大。

这套参考资料按专业分册出版。本书为变压器部分，主编单位是沈阳变压器研究所，参加编写单位有一机部第七设计院，西安变压器电炉厂，上海电压调整器厂、上海变压器厂、北京变压器厂，主要执笔人员是钱启录、唐炳炎、乐俊映、张万和、李中藩、罗延武、逢显、韩金禧和胡德民同志。

一机部科学技术情报研究所

目 录

第一章 变压器的发展	1
一、概 况	1
二、输电电压	1
三、产 品	3
四、制造工艺水平	7
五、科研试验及新技术的采用	9
六、发展趋向及运年设想	10
第二章 行业和企业情况	12
一、变压器制造业的特点	12
二、变压器制造业的生产	12
三、变压器产品技术经济指标	15
四、企业情况	19
第三章 变压器	36
一、大型变压器	36
二、中小型变压器	51
三、电炉变压器	59
四、整流变压器	70
五、成套变电站	111
第四章 电流互感器	117
第五章 超高压并联电抗器	127
第六章 调压器	145
第七章 国外科研机构及科研动向	157
第八章 高压试验技术及大变压器的绝缘试验	173
第九章 新技术	186
第十章 制造工艺及关键设备	192
第十一章 新材料的研制和应用	207
第十二章 产品质量的控制	220
第十三章 生产环境的改善	227
第十四章 国外涉及变压器的一些电工学术组织和有关刊物	231

第一章 变压器的发展

一、概 况

近十年来，工业发达国家的发电量、大型电站的装机容量及单机容量都有很大增长。例如美国、苏联、日本三国发电量的年平均增长率分别达7.6%，8.86%和15.4%。目前国外大型电站的装机容量一般为200~250万千瓦，最大的达600万千瓦。为了把大型电站发出的大量电能输送到较远的地区和建立大电网，各国的输电电压都朝着超高压(330~750千伏)和特高压(750千伏以上)的方向发展(见第二章第二节)。

最近美国 AEP 和瑞典 ASEA 合作，正在研究1100~1500千伏级的特高压输电技术，制成了2250千伏级试验变压器，建立起特高压试验站和试验线路，同时对1300~1600千伏级特高压输电时气象条件变化和对生物的影响等课题进行了研究，预计1100~1600千伏级输电线路，比现在运行的500~750千伏级输电线路更为经济合理〔1〕。

近年来，从技术上证明，直流输电可与交流输电相匹敌。美国和苏联均有±400千伏的直流线路投入运行。美国彭乃维尔电力公司还建成了±600千伏级的高压直流试验线路。

为适应上述发展形势，已有很多国家制成1000兆伏安以上的巨型变压器，最大的试制品为180万千瓦安单相变压器，三相变压器容量可达5400兆伏安〔2〕。

目前生产的大型变压器，除少数发电机变压器外，基本上都是采用有载调压。

此外，对中小型变压器也进行了改进，其中最为突出的是发展和推广成套变电站产品。据报导，美国1975年地下成套变电站占配电变压器的80%，苏联也计划将成套变电站产品，提高到占配电变压器总数的85~90%〔3〕。

同时，西欧国家发展了380千伏线路直配式小容量变压器；苏联试制成功了空间三相卷铁心结构的配电变压器；也有些国家对现有的中小型变压器进行了简化结构设计，以减少零部件，便于机械化、流水线生产。

为了减少运行和维修费，有些国家发展了干式变压器。特别是为了消除不燃性油的公害问题，使干式变压器更有发展前途。有人认为它有取代油浸式变压器的可能性。最近，西德变压器联合公司基尔希海姆厂专门生产“Geatol”型树脂浇注干式变压器，应用很广，并且该产品在1972年汉诺威博览会上被评为“优异设计”〔4〕。此外，还发展了SF₆气体绝缘变压器，氮气密封变压器等新产品。

由于电网容量的增大和输电电压的提高，要求装设更精确可靠的测量、保护及补偿设备，所以互感器、电抗器以及调压器等产品也都有很大的发展。有些国家已制成了高电压光电互感器及大容量并联电抗器。

二、输 电 电 压

输电电压美国在1909年时为110千伏，1914年达到150千伏。1923年美国 and 欧洲几乎同时

采用230千伏输电。1935年又建成一条423公里长的287.5千伏输电线路。

1952年瑞典首先建成一条380千伏级线路，全长950公里。相继美国出现了345千伏输电线路。西德将220千伏降压运行的线路升压至300千伏运行。1956年苏联400千伏输电线路投入运行，1959年又将其升压至500千伏^[14]。到了1965年加拿大首先在世界上采用735千伏输电线路。之后，美、苏也相继实现了750千伏电压输电。图1-1是世界输电网络电压的发展过程。

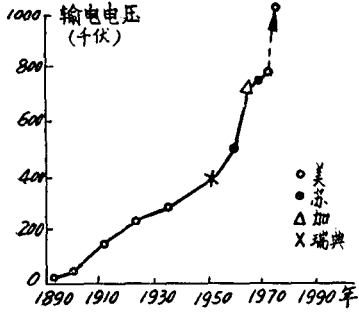


图1-1 世界输电网络电压发展过程

输电电压的升高是随发电量的增加而增高的，但是它的升高速率又因各国的具体情况不同而有所不同。瑞典、加拿大等国因水力资源距离负荷中心很远，需要远距离输电，所以在发电量还不太大时，就出现了较高的电压。而英国、日本等国，由于电厂靠近负荷中心，因此电压的升高就较缓慢^[15]。

近年来，美、苏等国均在研究1100~1500千伏特高压输变电技术。欧洲和美国东、西部各区域大都属于中距离（200~500公里）输电，但是由于特高压输电有可以减少输电回路，特别是特高压变电所采用气体绝缘方式后，可减少设备占地面积，美化环境等优点，所以都发展了特高压输电线路。1969年美国与瑞典合作建立了1100~1500千伏输变电试验站；苏联从1977年起开始建设1200千伏试验线路；美、苏计划1000千伏级以上的输电线路于八十年代投入运行。表1-1是若干国家输电电压的发展。

表1-1 若干国家输电电压的发展

国 别	电 压 等 级 (千伏)	出 现 年 分	国 别	电 压 等 级 (千伏)	出 现 年 分
美 国	10	1892	苏 联	10	1900
	33	1898		20	1904
	50	1903		40	1914
	100	1908		80	1915
	140	1912		154	1932
	230	1923		220	1933
	287	1935		330	1960
	345	1954		400	1956
	500	1964		500	1959
765	1969	750	1967		
加 拿 大	345	1956	英 国	132	1928
	500	1965		275	1952
	735	1965		400	1965
日 本	11	1899	西 德	225	1932
	55	1907		380	1958
	110	1914	瑞 典	220	1936
	154	1923		380	1952
	220	1954	法 国	225	1932
500	1972	380		1958	

三、产 品

(一) 产品制造水平

变压器单台容量越大, 相对的材料消耗越少, 到目前为止, 已投入运行的最大变压器, 三相为1300兆伏安, 单相为1000兆伏安。西德变压器联合公司所试制的单相1800兆伏安的变压器总重为850吨(无油时, 总重为650吨)。表1-2和表1-3分别为几个国家所生产的大型变压器和关键工装设备。

表1-2 各国变压器的最大容量(兆伏安)

国 家	电 压(千伏)					
	220	330	400	500	750	1100~1500
瑞 典	—	—	1000	—	500 (单相) 250 (三相)	333 (单相)
西 德	—	1300	1020	—	333 (单相)	1800 (单相)
美 国	1120	1300	—	1080	1000 (单相)	50 (单相)
苏 联	630	1000	—	630	417 (单相)	210 (单相)
日 本	1200	1100	—	1240	—	—
法 国	420	—	660	—	400 (单相)	—
英 国	880	1000	1000	360	170 (单相)	—

表1-3 几个变压器制造厂家的关键工装设备

制 造 厂 家	关 键 工 装 设 备
瑞典ASEA公司路德维卡厂	<ol style="list-style-type: none"> 吊运能力: 主厂房内装1×400吨和1×200吨吊车, 采用气垫, 可运输300吨的重物 线圈绕制: 车间内有大型立式绕线机和卧式绕线机; 大型并式线圈在立式绕线机上卷制, 线圈所需材料由电子计算机控制, 运到指定地点 油箱焊接: 油箱的部件首先间断地焊到一起, 然后全部焊缝由机械手完成。机械手臂的自由端上安装有探针, 能够感觉到所需焊接工件的特征, 进行自动焊接 试验设备: 有40000千伏安发电机组和120兆乏电容器组
西德变压器联合公司纽伦堡厂	<ol style="list-style-type: none"> 吊运能力: 主厂房内装2×400吨吊车, 可联合使用。厂房内有液压传动平板车为横向传递产品和工件用 生产能力: 有生产各种容量和产品的生产线, 铁心的最大生产能力为300吨, 油箱在半自动生产线上进行焊接, 有自动埋弧焊机。采用电子计算机进行辅助设计, 描图, 编制材料明细表, 安排车间的工作量, 检查工艺操作 试验能力: 有特殊吸音室, 可进行2000千伏安以下变压器的噪音测量; 有4800千伏冲击电压发生器; 有高压直流电压发生器, 可供2000千伏, 30毫安的电场使用; 有300兆乏的电容器组; 发电机容量规划将达2×30000千伏安, 变压器容量为300~350兆伏安, 可试验2000~3000兆伏安, 1500千伏的特大型变压器
美国西屋公司芒西变压器厂	<ol style="list-style-type: none"> 吊运能力: 有2×300吨吊车 大型油箱生产线: 从钢板清理到油箱制成, 油漆干燥均在生产线上进行, 采用数控气割机, 数控转盘冲床以及专用成套装置等 试验能力: 有2×20000千伏安发电机组和2×125兆乏电容器组, 有声学实验室

(续)

制造厂家	关键工装设备
美国通用电气公司 匹兹菲尔德厂	1. 吊运能力: 有 2×350 吨吊车 2. 试验能力: 有 1750 千伏工频试验变压器, 2×5100 千伏, 84 焦耳冲击电压发生器和 1000 千伏直流电压发生器
英国通用电气公司 斯塔福德厂	1. 吊运能力: 有 2×200 吨吊车 2. 试验能力: 有 4800 千伏, 346 焦耳的冲击电压发生器, 其他试验在生产线上进行, 减少了吊运工作
英国派生斯皮布斯公司 爱丁堡厂	1. 吊运能力: 装配厂房有 200 吨和 100 吨吊车各一台, 可联合使用 2. 设备能力可制造 1500 兆伏安, 1000 千伏的大型变压器
法国阿尔斯托姆萨瓦辛公司 圣乌恩厂	主厂房内有 300 吨吊车, 主要生产大型变压器和各种高压设备
日本东芝鹤见工场	主厂房内有 2×130 吨吊车 生产大型变压器和机电产品等
日本明电舍沼津工厂	装配车间有 250 吨吊车 厂房内具有空调和除尘装置, 可生产大中型变压器
苏联扎布罗什变压器厂	主厂房有 250 吨吊车, 铁心制造有自动生产线, 最大产品为 1000 兆伏安, 330 千伏大型变压器

(二) 产品技术水平

衡量变压器产品技术水平的高低, 有技术经济指标 (见二章五节), 产品质量, 产品结构, 新技术、新材料、新工艺的采用等等。通常把技术指标以“瓦/千伏安”表示, 它决定产品长期运行中所消耗的电能; 经济指标以“公斤/千伏安”表示, 它标志着产品所消耗的有效材料量。这两个指标是互相矛盾和制约的。技术指标先进, 材料的消耗有时就多些, 经济指标相对地差些。反之亦然, 在采用先进的技术、工艺和材料, 并合理地选择产品结构时, 这两个指标也会同时得到改善。此外, 国外还强调产品的可靠性, 维修简便, 无公害, 予装配化和成套化等。

目前, 超高压大型变压器的铁心, 全部采用最优质的冷轧硅钢片, 并且在结构上尽量利用冷轧硅钢片固有的优点, 使产品得到最优异的性能。例如, 铁心采用斜接缝、无冲孔、铁心柱与铁轭片用玻璃粘带或钢带绑扎结构。为了防止铁心竖立时硅钢片中产生应力集中, 以及由于重复拆装上铁轭而增加损耗和工时, 西德和意大利采用不插装上铁轭, 而用临时夹具夹紧的结构。当线圈套装后, 再进行插板。为了减少铁心结构件中的杂散损耗, 所有紧固件都采用非磁性材料, 并且全部接地, 以防止电容放电〔2〕。

瑞士 BBC 公司, 为了减少铁心损耗, 曾采用对称的幅射式铁心结构, 效果好, 但因加工困难, 尚未推广。铁心紧固件采用高密度层压木材代替钢铁件, 可减少损耗, 缩小尺寸, 减轻重量。

铁心选片退火, 主要是为了减少选片加工时产生的应力集中和增加的损耗。现在, 由自动控制的生产线加工和采用优质的刀具, 大大减少了应力集中, 使加工时所增加的损耗不超过 0.8%, 故有的厂家不再进行退火处理。

在线圈结构方面, 是通过增大纵向电容的方法, 来改善线圈的冲击特性, 同时也兼顾制

造方便和机械强度方面的要求。目前广泛采用的线圈型式，仍是有层式线圈、并式线圈和螺旋式线圈三大类。

为了改善冲击电压分布，一些国家在纠结式线圈的基础上，又研究出一些改进的新结构，如日本在一般连续式线圈的基础上，采用所谓插入电容的办法来增大线圈的串联电容。苏联为提高500千伏变压器防雷强度，研究了连续式与纠结式的组合式线圈，对改善线圈的冲击电压分布都很有效。

线圈最重大的成就是换位导线的广泛应用，它不仅解决了特大电流线圈的制造困难，并大大地降低了由于换位不均匀而产生的附加损耗，并缩小了线圈的尺寸。

为了保证大型变压器的机械强度，对线圈采用了强韧的夹紧结构，并且在有夹紧力的情况下进行予干燥和装配。结合精心的设计，保证安匝最大平衡，使轴向力限制到最小，从而使变压器在短路时产生的轴向力不能大于这个夹紧力。

为了获得可靠的线圈压紧结构，西德采用楔形压紧装置以及止退压钉装置。美国通用电气公司电力变压器产品部发明了所谓动力压缩装置 (Dyna-Camp) 来夹紧线圈，可保证线圈在制造、运输以及整个使用寿命中可靠地夹紧。另外，在最大的短路力作用下，可以有效地防止线圈的移动。

在大型变压器设计和制造中，存在漏磁场和局部过热等一系列较复杂问题。在国外，普遍依靠电子计算机、近代物理数学分析方法及模拟技术，进行精确地计算，从而采取有效的措施，使问题得以解决。

此外，有的国家推荐采用非金属材料，如高密度层压木材制造紧固零件。美国正在研究用塑料等合成材料，代替金属油箱〔5〕，在不同程度上解决了漏磁及局部过热问题。

在中小型变压器中，为了改善技术经济指标，铁心结构有几种不同的形式。如法国CEM公司和瑞士BRC公司有专门生产渐开线铁心变压器的工厂。日本普遍采用卷铁心的结构，不仅便于机械化生产，同时还能大大地降低铁心的损耗，缩小尺寸，从而使整个变压器具有先进的技术经济指标。

中小型变压器的线圈，以铝导线代替铜导线，经济便宜。近年来，西德、苏联、美国 and 英国等大量生产铝箔或铝带绕制的多层圆筒式线圈，配合环氧树脂浇注的工艺，因而具有结构紧凑、空间填充系数好，电压分布均匀和机械强度高的特点。同时，便于机械化生产。

在现代变压器生产中，为确保产品质量，美国GE公司对所制造的100万千伏安单相变压器，安装了电子故障探测器，可探测变压器的初期故障和内部电晕及外部报警装置的动作情况〔6〕。

美国西屋公司生产的全自保护变压器 (CSP)，其装有光信号指示器，自动控制变压器的负荷，从而保证变压器安全运行。

英国电气公司应用冷冻原理，设计及制造出一种新型自动吸湿器，可保证油箱内的气体及进入储油柜的空气脱水，对变压器进行连续干燥，延长使用寿命。同时不需任何维护工作〔7〕。该公司现产的各类变压器都装有这种吸湿器。

此外，还有最热点温度计、新型气体继电器、变压器油面温度计以及过载保护装置等，对变压器的安全运行都起到了一定的保证作用。

促进变压器发展的一项重要材料，是高性能硅钢片的应用。图1-2为世界历年硅钢片铁损改善的情况。

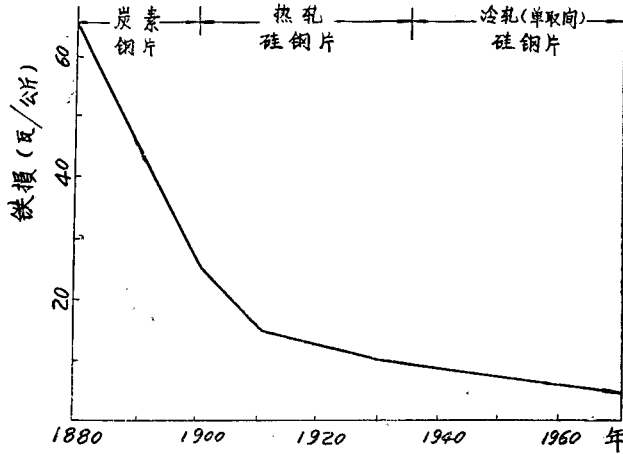


图1-2 世界历年硅钢片铁损的改善

1957年美国通用电气公司和西屋公司几乎同时制成立方织构硅钢片，即(100)[001]织构，在轧制方向和垂直方向上，都能得到与单取向硅钢片轧制方向磁性相近的性能参数。因此，变压器铁心无须采用斜接缝结构，而简化了制造工艺。试验表明，立方织构硅钢片铁心变压器，在磁密为17000高斯时，损耗比通常晶粒取向硅钢片铁心变压器低0.65倍，激磁电流低一倍，但是目前由于这种硅钢片制造工艺复杂，价格昂贵，在变压器中尚未应用。

铁心结构至今仍然是心式和壳式两种结构。冷轧硅钢片问世后，于1945年出现了斜接缝铁心结构，以适应晶粒取向硅钢片的特性。在中小型变压器方面，1942年设计出了卷铁心。五十年代又出现了无穿心螺杆玻璃粘带（或钢带）绑扎式铁心结构。

变压器线圈结构早期是交错式线圈，以并式线圈为多；其后在心式铁心结构基础上，出现了圆筒式线圈；随着输电电压的升高，采用了中部引线结构；1947年英国人发明了纠结式线圈；六十年代又出现了插入电容式线圈结构，提高了纵向电容，改善了冲击分布。

二十年代出现换位导线，三十年代出现有载调压变压器和有载分接开关。

1932年美国西屋公司首先采用不燃性油制造了防火变压器。

1930年后变压器进入改进提高阶段，如200兆伏安三相电力变压器，从1956年到1976年铜损降低三分之二，铁损降低一倍。目前变压器的单台容量已发展到130万千伏安，电压为765千伏，样品电压甚至达到1780千伏。世界变压器的单台容量和电压的发展见表1-4和表1-5。

表1-4 变 压 器 单 台 容 量 的 发 展

国 别	匈牙利	德 国	美 国	德 国	美 国	美 国	美 国	瑞 典	英 国	西 德
年 代	1886	1910	1925	1929	1941	1950	1955	1964	1968	1971
容 量(千伏安)	1500	15000	35000	100000	133000	180000	400000	500000	1000000	1300000

表1-5 变 压 器 电 压 等 级 的 发 展

国 别	德 国	美 国	德 国	美 国	美 国	美 国	瑞 典	苏 联	加 拿 大
年 代	1890	1895	1900	1907	1912	1921	1952	1959	1965
电压(千伏)	15	22	60	110	154	220	380	500	765

四、制 造 工 艺

目前, 在国外变压器生产中, 已采用的先进工艺有: 铁心生产流水线; 片式散热器生产线; 油箱焊接生产线; 油箱电泳涂漆生产线; 线圈自动绕线机; 中小型变压器装配及试验自动线; 汽相干燥生产线; 铁心迭片工作台; 自动化仓库等。

美国西屋公司杰弗逊厂是专门生产地下室和坐地式标准型配电变压器的工厂。该厂的设计和生均产均是高度自动化, 厂房内有空调设备。生产线能够满足成批生产的需要, 产品零部件的生产在各自生产线上进行, 并在指定的装配点上集中。

整个生产分成三个过程, 第一个生产过程是钢板剪裁、导线绝缘和铁心纵向剪切。

第二个生产过程是铁心、套管、开关、油箱、绝缘材料及其他部件的生产。

第三个生产过程是线圈制造和产品装配。

这种生产配合和程序的安排, 是为了按时在集中点会合。其他外物件和导线的供应完全是通过计算机控制的。

该厂有30台绕线机, 每台绕线机上设有一个加压跟踪臂, 在绕制带状导线时, 跟踪臂可在线圈整个绕制过程中, 在线圈上施加压力。这种技术改善了线圈尺寸的稳定性和线圈强度, 并缩小了变压器外型尺寸。绕线机顶部有自动焊机, 可把二次引线焊在导线上。

矩形卷铁心的制造是在自动铁心成型机上进行的。模压后的铁心, 用型模成型以固定尺寸, 并在无氧情况下进行退火处理, 退火温度为815°C, 时间为9小时, 退火后经过冷却处理, 最后对铁心进行试验。

油箱由钢板制成, 钢带厚度最大为 $\frac{3}{16}$ 吋, 最宽为72吋, 最长为12吋。这条生产线可用人工或控制系统操作。这条生产线的剪切速度为150呎/分, 在需要时, 还可另增一条自动剪切线, 来进行最后的剪切工序。

以自动焊接机将剪切后的板材, 按要求焊装成油箱。

油箱焊成后, 进入喷漆室进行化学清洗、电泳涂漆和静电喷漆。传送线长半哩, 大部分部件的电泳涂漆仅需5分钟, 此后经过烘干处理(温度约为150°C)。进入喷漆室, 进行喷涂底漆, 烘干后再喷一层精饰漆。

铁心与线圈的装配, 在自动定位台上手工进行, 此后, 将器身投入油箱内进行真空注油和进行试验。在试验转台上, 可同时试验8台不同规格的产品。转台上的试验由西屋公司生产的P2000型电子计算机进行控制, 并随时按输入要求进行变换。

试验完毕后, 产品装入包装箱内, 并装上其他附件。最后经刷漆、称重后存栈。

该厂变压器生产周期为21天。1973年有职工730人, 全年产值为7000万美元, 平均每人

每年产值达95800美元〔8〕。

有关各国铁心生产线、退火炉及立式绕线机的技术数据见表1-6至表1-7。

表1-6 国外几种纵向剪切生产线技术参数

国家和厂家 型 式	法 国 科 米 克	英 国 比 格 伍 德	美 国 约 杰 尔	苏 联 H4208
纵向剪切方式	传动	拉动	拉动	拉动
卷料厚 毫米	≤0.5	0.35	0.3~1	0.5
卷料最大宽 毫米	1066	1000	1070	1000
卷料内径 毫米	508、610			500
卷料外径 毫米			<1000	<1400
卷料最大重 公斤	5000	3000	3500	5000
同时剪切带数	9	10		12
剪切速度 米/分				
最大	195	60	100	180
最小	90		50	60
生产线重 公斤	30500	29000	20000	25000
电机总功率 千瓦		20		67.4
外形尺寸 毫米				
长		14000		14300
宽		7000		6500
高		2000		1550

表1-7 国外几种横向剪切生产线技术参数

国家和厂家 型 式	英 国 雷 德 门	西 德 威 廉 堡	苏 联 JI519	法 国 科 米 克	民 主 德 国 TYP	苏 联 JI720
进料机构形式	钳 式	钳 式	钳 式	钳 式	辊 式	辊 式
带料宽 毫米	120~1000	80~800	80~750	80~750	200~1000	80~750
带料厚 毫米	0.35~0.5	<0.5	0.35	0.35		0.35~0.5
带料内径 毫米	400~500		500	500±40	400~500	400~500
带卷重量 公斤	<2500		<5000	<5000	<2500	<3000
剪切片长 毫米	400~4000	<4000		400~3000	600~2800	400~1500
斜片角度 度	±45、90	±45	±45、90	±45、90	90	90
进料速度 米/分	<90				14~42	30
生产率	24米/分 (最大片长)	15片/分 (2米片)	30米/分 (2.5米片)	15~18片/分 (2.5米片)	15米/分 (平均值)	1.4×10 ⁶ 次/年 (1.5米片)
生产线重 吨		30	>16			
电机总功率 千瓦		42			12	
外形尺寸 毫米						
长	26000	25800	12600	12600	12350	8500
宽	4000	3400	2550	2550	5000	3400

表1-8 国外几种连续退火炉技术参数

型 式	国家和厂家	英 国 米塔利克特里克	苏 联 Or6-885	日 本 富 士	法 国 斯太恩·路伯
退火炉型式		传 送 带	辊 底	辊 底	辊 底
退火温度	°C	800	800~850	800~820	810
送料速度	米/分	0.4	3~10	6.8~7.5	10.5
堆片数	片	8	1	1	1
退火能力	公斤/小时	500	670	1000	3000
传送宽度(硅钢片)毫米		1000	1000	(850)	2085
功率(热容量)	千瓦	240	400	(264)	1200
气体介质		氮、氢	空 气	空 气	空 气
加热时间	分	12	0.5~1.5	约0.8	1
保温时间	分	—	—	0.5	1.3
冷却时间	分	29	1.1~4.0	约1.2	2.1
耗水量	米 ³ /小时	5	10	—	20
炉长	米	22.55	28.7	27	48

表1-9 瑞士 Micafil 公司立式绕线机技术数据

型 式	MW211	MW221	MW260	MW270
性能数据				
最大转矩(公斤·米)	600	1800	1500	3000
转 数(转/分)	3和6 或 6和12	2和4 或 3和6 4和8	3和6	2和4
负 荷(公斤)	6000	10000	20000	30000
台面直径(毫米)	1200	1500	2500	3200

五、科研试验及新技术的采用

国外变压器制造厂家都很重视科研试验工作。一般较大的公司都有自己的科研试验基地，并且与国外知名的公司建立技术协作关系，互相利用科研成果。对于技术力量比较薄弱的公司，也常常是通过购买技术专利的办法来指导本身的设计和和生产工作。

法国 CEM 公司与瑞士 BBC 公司有60年左右的技术协作关系；日本东芝公司与美国通用电气公司有技术协作关系；日本大阪变压器公司与法国的阿尔斯托姆-萨瓦辛公司有技术联系等等。

目前，美国电力研究所 (EPRI)，电气与电子工程师协会 (IEEE) 及国家制造者协会 (NEMA) 所从事的研究课题如下：

- 1) 可靠的变压器负荷导则；
- 2) 监控和降低过热点温度；
- 3) 内部电晕的有线自动检测和报警系统，以及预报可能出现的故障（采用超声波噪音检测）；
- 4) 气体绝缘变压器（代替有火灾危险的油浸变压器）；

5) 改进铁心片间的绝缘、油质及可听噪音水平^[10]。

此外,在变压器制造业中广泛开展的科研课题有:①特高压输电及在1100~1600千伏高压下的电磁场分布及其对空气、生物等的影响问题;②特高压大容量变压器的绝缘结构和绝缘配合问题;③漏磁分布,局部过热和屏蔽问题;④大变压器短路强度问题;⑤高电压下绝缘击穿、局部放电的理论,测试技术及其保护问题;⑥散热及冷却问题;⑦新材料的研究及应用;⑧有载调压问题;⑨有关电磁场的新理论;⑩基础理论研究等。

在特高压交、直流输电及绝缘的研究方面,瑞典的 ASEA 公司1952年首先建成世界第一条400千伏级输电线路,之后提供了质量较高的500~750千伏级的输变电设备。最近又与美国 AEP 公司合作,研究1100~1600千伏级的特高压输电技术。

瑞士 BBC 公司在基础理论研究和产品结构方面做了很多工作,制造出采用辐射式铁心或渐开线铁心的变压器和电抗器,产品技术经济指标比较先进。为了解决大变压器的杂散损耗问题,目前结构件都用高密度层压木材制造。特别是该公司鲁伯尔 (Robel) 工程师所发明的换位导线,可被用来制造电流达10000~20000安培的特大型变压器线圈,解决了绕制大电流线圈的困难,降低了杂散损耗,对制造特大型变压器起到了决定性的作用^[11]。

六、发展趋向及远年设想

(一) 继续向特高压大容量方向发展

进入七十年代以来,一些国家开始研究1100~1500千伏级的输电问题。苏联从1977年起开始建设1200千伏级试验线路,长200公里,约10年后升压运行。美国和瑞典合作,从1980年起在美国西部将建设1100千伏级输电线路,计划10年后升压运行。美国东部10年后将采用1500千伏级输电线路。意大利也计划1979年以后建设几十公里长的试验性1000千伏级输电线路。此外瑞典、法国、巴西、南非等国家也都在考虑800千伏级输电,预计八十年代1100~1600千伏级的输电系统容量可达1000万千瓦。

瑞士 BBC 公司指出: 预计未来十年中,发电机组的额定容量将达到120~140万千瓦,变压器的额定容量可达180万千瓦安。英国派生斯·皮布斯公司、法国 CEM 公司都曾研制过拆卸运输的,单相组容量达450~900万千瓦安的变压器^[13]。法国 CEM 公司还曾经设计和试制过250万千瓦安,1100/20千伏,50赫芝组合式变压器的样品,不带油时总重量为1000吨(估计需载荷能力为800~900吨的运输设备)。

(二) 更广泛地应用电子计算机

美国报导中指出: 今后十年内生产领域将面临一场变革,其关键问题是提高生产率和降低成本。要想达到这两个目的,必须把计算机辅助设计“CAD”和计算机辅助制造“CAM”作为未来生产技术的主力,这是毫无疑问的。

(三) 大力研制和开发新材料

目前,日本冷轧硅钢片的质量已超过美国,达到世界第一位。从而使变压器的技术性能获得明显的提高。

为解决不燃性油的公害问题,从而研制了不燃或难燃的绝缘材料,以取代性能优良的不燃性油。此外,还在大力研制导电材料、导磁材料、绝缘纸、绝缘涂料、新型树脂、绝缘塑料、超导材料以及结构材料等。

参 考 文 献

- [1] 《Elec World》1976, 186, No. 11.
- [2] 西德样本“大型变压器”1975年西德展览会。
- [3] 《Электротехника》, 1976, No. 4 .
- [4] 西德样本“环氧树脂浇注变压器”1975年西德展览会。
- [5] 《U.S. Industrial Outlook》, 1971.
- [6] 《EL & P》, 1976, 54, No 1 .
- [7] 《Elec Times》1966, 149, No. 9 .
- [8] 《Elec Rev》1972, 191, No. 23.
- [9] 《Elec Rev》1973, 192, No. 9 .
- [10] 《U.S. Industrial Outlook》, 1976.
- [11] 《BBR》1976, 63, No. 7 .
- [12] 西德样本, 1975年9月。
- [13] 《国外机械工业基本情况参考资料“变压器”沈阳变压器研究所, 1975年。
- [14] 《Электротехника сверхвысокого напряжения》.
- [15] 《高电压技术》, 1977, No. 2, 76, 水电部高压研究所。

第二章 行业和企业情况

一、变压器制造业的特点

(一) 企业合并、倒闭

世界变压器产量最多的国家是美、苏、日。美、苏的产品主要销售于国内市场,日本的变压器在国际上的竞争力很强。西欧变压器生产仍是相对过剩,特别是英国从六十年代末到七十年代初,经改组与合并,只剩下四家变压器专业厂,解雇了50%的劳动力。〔89〕

据美国艾迪生电气院58号动力年度报告指出,预计大型电力设备市场仍处萧条。变压器1976年订货量为15097万千伏安,尚有7700万千伏安的生产潜力〔90〕,由于市场萧条,美国阿利斯查摩公司(Allis-chalmer)于1976年关闭其西阿利斯厂(West Allis)改为生产农用拖拉机。〔91〕。

(二) 生产专业化

国外,变压器基本上是由专业厂生产的,例如,美国变压器行业产值占全国变压器总产值的98%,而59%又集中在四大公司〔92〕。为了更有效的发挥各专业厂的生产能力,专业厂按产品的规格分工。例如西德变压器联合公司组成后,整顿为三个厂,即斯图加特厂(Stuttgart)、纽伦堡厂(Nijrnberg)和基尔斯海姆厂(Kircheim)。三个厂各有侧重,斯图加特厂专门生产大型和特型变压器,纽伦堡厂生产大中型变压器,而基尔斯海姆厂集中生产干式配电变压器。这样调整后,提高了该公司的竞争能力,1973年秋制造了97万千伏安大变压器,1974年提供了世界上特大型102万千伏安特大容量变压器〔93〕,而基尔斯海姆厂生产的“Geafol”牌的干式变压器,成为欧洲市场名牌产品之一。

总之,产品专业化生产是组织生产的有效措施,并推动了工业技术的发展。

(三) 开展试验研究,互相引进技术专利

换位导线的制造专利是从瑞士BBC公司扩散到欧美各公司。瑞士威德曼公司制造的铸造成型件,各公司采取了直接购买成型件产品的办法,应用在自己的产品上。法国CEM公司购买瑞士BBC公司生产渐开线铁心变压器的专利,从而使该厂的产品独具一格。

二、变压器制造业的生产

(一) 一些国家变压器的年产量

表2-1列出了九个国家的变压器年产量。从1973年的情况可以看出,美国变压器产量居首位,占国外变压器年产量的30.8%;苏联第二,占22.7%;西德第三,占6.6%;法国第四,占6.4%。进入70年代后,英国变压器产量,从六十年代的第三位下降到第六位。

(二) 美、苏、日变压器发展

美、苏、日三国变压器的产量发展见图2-i,其逐年生产增长速率见表2-2。

生产发展速度,美国平均年增长速率为6.3%,苏联为5.2%,日本则以4.5%的速率逐

表2-1 九个国家电力变压器年产量 (万千伏安)

年代 \ 国别	美国	苏联	日本	西德	法国	瑞典	英国	意大利	瑞士	合计
1970	15575※	10586.6	9250.3	2908.1	1297.8	971.0	2692.4	1394.1	635.0	—
1971	17358.4	10814.2	8670.7	3120.3	1671.3	1588.5	3122.3	1938.7	603.2	—
1972	17052.0	11629.6	7845.3	3969.9	3009.1	1933.0	2181.0	2076.2	656.1	50352.2
1973	16376.8	12102.2	10471.7	3504.1	3441.4	2723.5	2295.8	1707.1	476.8	53099.4
1974	18420.1	12673.7	9993.3		3678.6					—
1975	18670.9	13659.6	6522.9							—
1976	16512.9	14400	7923.1							—

※ 估算值

注: 1. 法国为5千伏安以上产量

2. 美国为500千伏安。英、西德、意大利、瑞典和瑞士为10000千伏安以上交货量

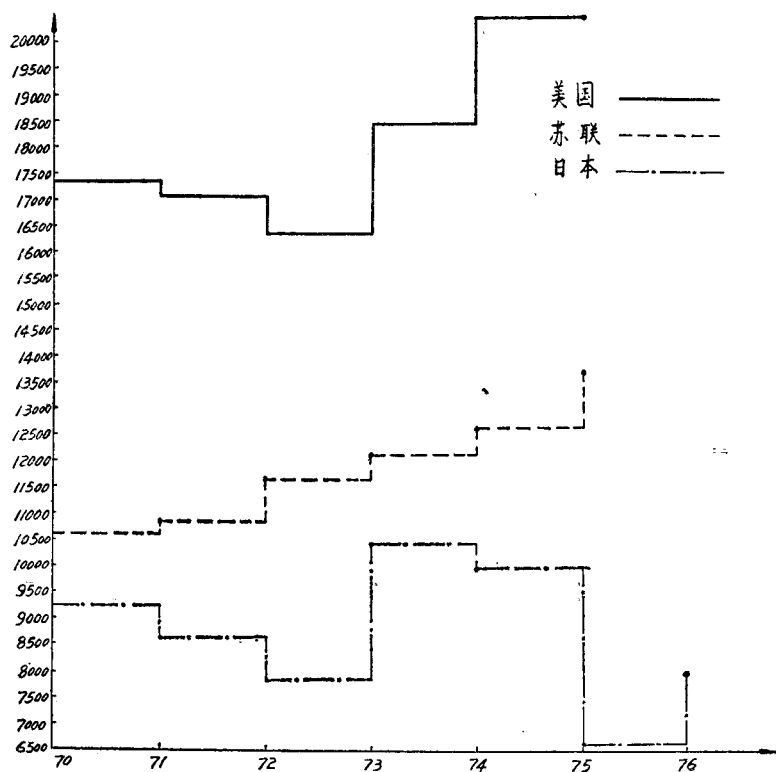


图2-1 美、苏、日三国变压器的产量增长

表2-2 美、苏、日三国变压器生产逐年增长速率

国别 \ 年代	70—71	71—72	72—73	73—74	74—75	平均
美国	11.4	- 1.8	- 4	12.6	13.4	6.3
苏联	2.3	7.2	4.2	4.6	7.8	5.2
日本	- 6.2	-10.7	33.7	- 4.6	-34.5	-4.5