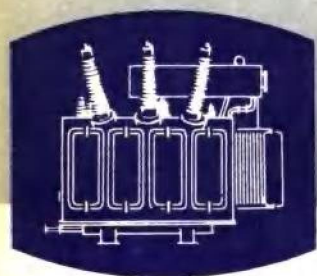


电力变压器安装

(修 订 本)

吉林省送变电工程公司编写组



水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍电力变压器安装技术。

全书内容共分三大部分：第一部分，结合电力变压器安装工作的需要，扼要地介绍了电力变压器的工作原理和结构；第二部分介绍电力变压器的卸车、装车和运输；第三部分介绍电力变压器心部检查、附件安装、绝缘干燥、试运行、电气测量和试验，以及绝缘油处理等。

书中，对于各项安装技术要求，也作了必要的理论说明。

本书可供从事电气安装工作的工人、干部和技术人员参考。

电 力 变 压 器 安 装

(修 订 本)

吉林省送变电工程公司编写组

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

1976年3月北京第一版 1977年2月北京第二版

1977年2月北京第一次印刷

印数 00001—70470 册 每册 1.05 元

书号 15143·3242

前 言

在毛主席无产阶级革命路线的指引下，我国电力建设事业迅猛前进，送变电工程建设战线上广大工人、领导干部和技术人员以大庆为榜样，奋发图强，自力更生，在工程建设的实践过程中，积累了丰富的经验，创造了很多新的工艺技术，为发展我国送变电工程建设，作出了贡献。

无产阶级文化大革命以来，革命形势一片大好，我国社会主义事业蓬勃发展，工农业生产蒸蒸日上，送变电工程建设任务也日益繁重。总结施工技术经验，交流和普及施工技术，以适应形势发展的要求，是全国广大送变电工人、领导干部和技术人员的殷切希望，是一项具有重大意义的任务。为此，我们计划在总结经验的基础上，选编出版送变电工程施工技术丛书。

这套丛书的内容初步打算包括：电力变压器安装、开关设备安装、二次线安装，以及线路施工方面的基础、杆塔施工、内拉线抱杆组塔、爆炸压接、架线和施工测量等。准备陆续编写出版，供送变电工程建设战线上的同志参考。《电力变压器安装》这本书，是由庞骏骐同志执笔的。本书第一版出书后，承有关方面提出宝贵意见，为了使内容更臻完善，我们又作了必要的修改和补充。

丛书编写中，以总结我们的施工经验和革新成果为主，同时，也吸取了各方面的好经验和新技术，但是，由于我们的经验不多，水平不高，向各兄弟单位学习又不够，书中一定会有缺点和错误，热诚地希望各兄弟单位和广大读者提出批评意见。

吉林省送变电工程公司

1976年7月

目 录

前 言

第一部分 电力变压器的基本知识

第一章 现代电力变压器	1
第一节 电力变压器的特征	1
第二节 我国的电力变压器	7
第二章 工作原理	19
第一节 单相双线卷电力变压器	19
第二节 三相双线卷电力变压器	26
第三节 三线卷电力变压器	33
第四节 自耦电力变压器	36
第五节 调压电力变压器	39
第三章 主要部件的结构	46
第一节 铁心和线卷	46
第二节 油箱和底座	58
第三节 套管和引线	62
第四节 分接开关	73
第五节 散热器	92
第六节 保护和测量部件	97

第二部分 电力变压器的运输

第四章 运输概论	113
第一节 运输工作的要点	113
第二节 运输的方式	119
第三节 运输工作的程序和准备	125
第五章 卸车和装车	128
第一节 吊起法卸车和装车	128

第二节	斜面牵引法卸车和装车	137
第三节	平卧电力变压器的卸车、装车和竖立	154
第六章	运 输	162
第一节	铁路运输	162
第二节	拖车运输	168
第三节	滚动运输	181
第四节	水上运输	198

第三部分 电力变压器的安装

第七章	安装概论	209
第一节	安装工作的要点	209
第二节	绝缘潮湿问题	213
第三节	密封问题	223
第四节	安装工作的程序和准备	233
第八章	绝缘油处理	239
第一节	绝缘油的性质	239
第二节	绝缘油处理的方式	243
第三节	压力滤过法	246
第四节	离心分离法	251
第五节	真空雾化法	256
第九章	心部检查和试验	261
第一节	绝缘检查	261
第二节	绝缘判断	268
第三节	心部检查	278
第四节	油箱检查和安装	292
第十章	附件安装	301
第一节	底座安装	301
第二节	套管安装	305
第三节	散热器安装	315
第四节	油枕部分安装	327
第五节	分接开关安装	331
第六节	其它附件安装	337

第十一章	结尾工作和试运行	340
第一节	安装结尾工作	340
第二节	试运行的准备	348
第三节	试运行	351
第十二章	绝缘干燥	356
第一节	绝缘干燥的原理和方式	356
第二节	油箱铁损干燥法	362
第三节	铜损干燥法	378
第四节	零序电流干燥法	385
第五节	热油干燥法	393
第六节	热风干燥法	397
第十三章	电气测量和试验	400
第一节	变压比	400
第二节	极性和组别	401
第三节	空载电流和空载损耗	405
第四节	直流电阻	406
第五节	绝缘电阻和吸收比	409
第六节	介质损失角	411
第七节	电容比	414
第八节	交流耐压	416
附 录		
附录一	YSB型水冷却器	419
附录二	双线卷变压器线卷联接图、向量图及组别标号	433
附录三	三线卷变压器线卷联接图、向量图及组别标号	434
附录四	自耦变压器线卷联接图、向量图及组别标号	435
附录五	制造、安装、检修电力变压器的常用油漆	436
附录六	制造、安装、检修电力变压器的常用绝缘材料	437
附录七	6~10千伏电力变压器的主要技术数据	438
附录八	35~60千伏电力变压器的主要技术数据	442
附录九	110千伏电力变压器的主要技术数据	446
附录十	154~330千伏电力变压器的主要技术数据	452
附录十一	220~330千伏自耦电力变压器的主要技术数据	456

第一部分 电力变压器的基本知识

第一章 现代电力变压器

第一节 电力变压器的特征

电力变压器是一种常见的电气设备，无论是在发电厂、变电所或配电站，都可以看到各种型式和大小不同容量的电力变压器在运行着。电力变压器能够把一种等级的电压转变成另外一种等级的电压，因此，可以利用它把不同电压的电网联结在一起，组成复杂的电网或大的电力系统，所以电力变压器是电力系统里的重要设备。

现代的大型发电厂，多数建设在能源丰富的地区，例如邻近水坝或煤矿，这些地区与电力主要用户所在的大城市或工业区经常有比较远的距离，因此，长距离输送大量电能便成为现代电力系统的特点。我们知道，由于线路损耗和线路压降等原因，在长距离输送大量电能时，必须提高线路的输送电压，所以在发电厂里面总是要安装各种型式的升压变压器，把发电机的出口电压提高到适合于输送的较高电压，而在负荷中心则安装若干级的降压变压器和大量分散布置的配电变压器，把输送来的高压电能变换到便于经济分配和直接使用的较低的电压。由此，可以了解电力变压器在电力系统中的重要地位。

现代电力系统里，1千瓦的发电容量通常需要配合5~8千伏安的变压器容量，可见电力变压器的需要数量是很大的。目前，单台发电机的容量提高很快，超高压输电线路的运行电压也有相应的提高。为了适应这种情况，就需要发展和制造大容量、高电

压的电力变压器，现在实际上已经制造出来了许多可以称之为“巨型”的大容量、高电压电力变压器。

上面根据在电力系统中工作性质的不同，提到了输电（升压和降压）和配电两类电力变压器，实际上，电力变压器并不只是这样一些类型，广泛些说，还应当包括为电炉、水银整流器、电焊和测量等特殊用途而制造的变压器。就工作原理和主要部件的结构来说，输电和配电变压器不同于特殊用途的变压器，但是就安装问题而言，各种电力变压器都有许多共通之点。在本书各章中所说“电力变压器”，主要是指输电和配电的变压器，特别是用得最为广泛的油浸式电力变压器。

根据电力变压器的相数、线卷数、冷却方式以及铁心结构等的不同，可以分成各种类别。

根据相数分类，有：

- （1）单相电力变压器；
- （2）三相电力变压器。

根据线卷数分类，有：

- （1）双线卷电力变压器；
- （2）三线卷电力变压器；
- （3）自耦电力变压器。

根据冷却方式分类，有：

- （1）油浸自冷式电力变压器；
- （2）油浸风冷式电力变压器；
- （3）油浸强迫油循环冷却式电力变压器。

根据铁心结构分类，有：

- （1）铁心式电力变压器；
- （2）铁壳式电力变压器。

分类的依据还有许多，上面仅提到了最常见的一些。在各种分类中，通常是把铁心的结构作为基本的分类，这样电力变压器的构造便有铁心式和铁壳式两大类。

铁心式（内铁型）电力变压器（图1-1）的线卷3做成圆筒

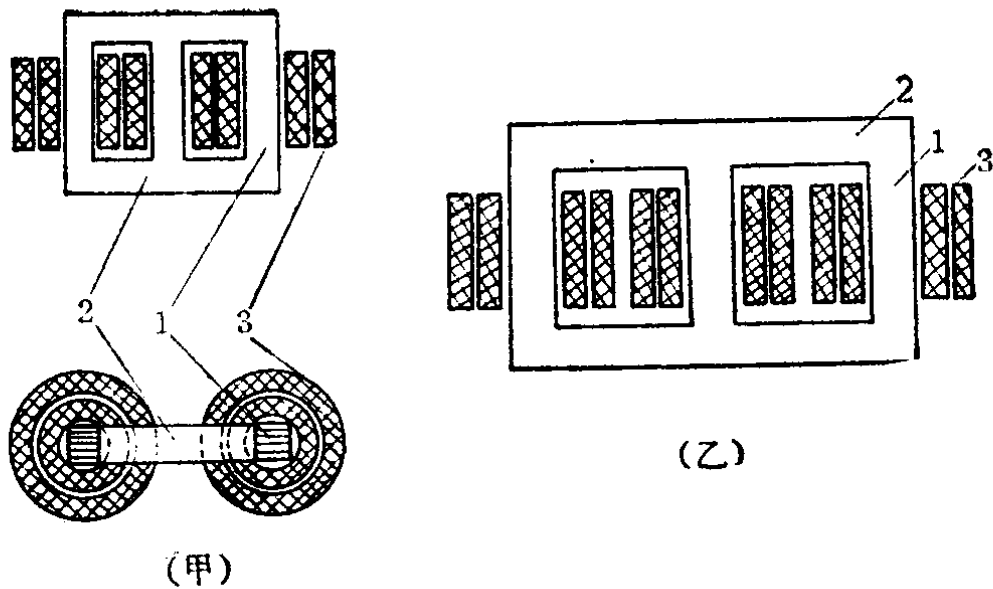


图 1-1 铁心式电力变压器

(甲)单相; (乙)三相

1—铁心柱; 2—铁轭; 3—线卷

形，垂直放置，并包围着铁心柱 1，线卷的端面由铁轭 2 掩蔽。单相铁心式电力变压器有两个铁轭和两个铁心柱，共同构成一个闭合的磁路。三相铁心式电力变压器的每相各有一个铁心柱，由两个铁轭把它们联接起来，构成三相磁路系统。

铁壳式（外铁型）电力变压器（图1-2）的线卷 3 做成矩形，

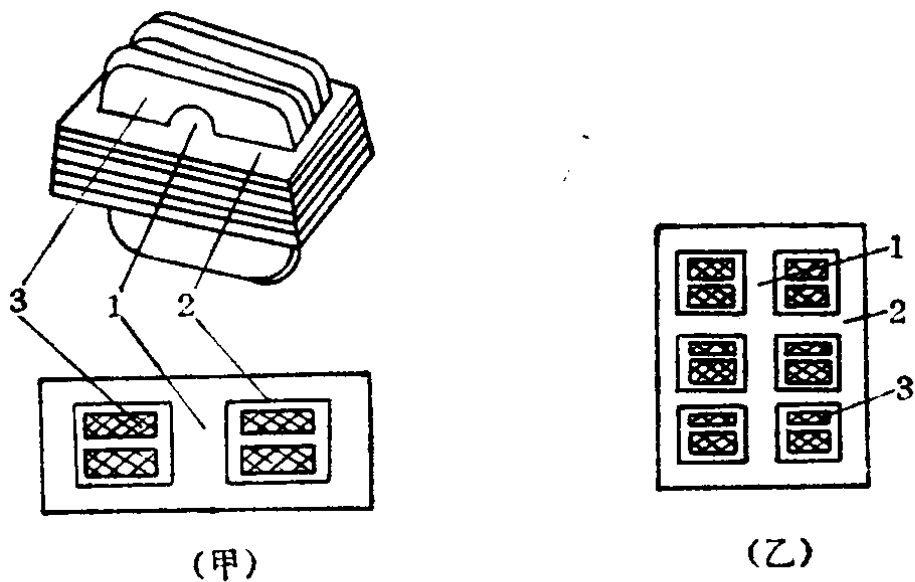


图 1-2 铁壳式电力变压器

(甲)单相; (乙)三相

1—铁心柱; 2—铁轭; 3—线卷

水平放置，线卷被铁轭 2 包围。单相铁壳式电力变压器的铁轭 2 分成两个支路与铁心柱闭合。三相铁壳式电力变压器的铁心可以看作是三个排列在一起的单相铁壳式铁心。

油浸式电力变压器的有效工作部分完全浸在绝缘油里面，上世纪末开始制造，从本世纪起才逐步发展起来，目前，制造电力变压器的有关技术问题已基本得到解决，能够制造出高电压、大容量的各种电力变压器。

在设计和制造电力变压器时，常常把电力变压器分成若干系列。制造哪些等级的变压器，取决于电力系统的标准电压和负荷，因此，电力变压器系列的划分是按电压和容量进行的。

从本世纪五十年代开始，电力变压器的制造、安装和运行已经进入一个新的阶段。下面综合介绍一下目前电力变压器发展的趋势和一些主要问题。

1. 结构方面

(1) 三相和单相 近年来，有大量采用三相电力变压器的趋势。与相同容量、相同电压等级的单相电力变压器比较，制造三相电力变压器可以节约硅钢片、钢材和绝缘油等主要材料，以电压 220 千伏级的为例，约可节约 20%；还可以降低制造的人工费用，缩短制造时间。此外，由于制造技术的提高，电力变压器的运行故障减少，一向被认为有比较经济的备用容量和结线灵活等优点的单相变压器组的特长也就逐渐减色，所以，一些惯于制造单相电力变压器的国家也开始制造大型的三相电力变压器。

制造三相电力变压器，主要受运输条件的限制，因而在某些时候，还是有把特大容量的电力变压器作成单相电力变压器组的需要。

(2) 铁心式和铁壳式 铁壳式变压器的绝缘结构和制造工艺都比铁心式复杂，所以目前各个国家制造大、中型电力变压器时，铁心式结构占主要地位。但是有些国家的部分工厂，却愿意采用铁壳式结构，他们认为在大型电力变压器上采用这种结构比较可靠，而且可以得到较大的容量。

(3) 自耦电力变压器 同高压线卷和低压线卷分开的普通电力变压器比较, 制造自耦电力变压器可以减少铜和硅钢片的消费, 降低损耗, 提高单位容量, 同时自耦变压器可以联成灵活的结线, 节约高压设备。因此, 在制造高电压、大容量的电力变压器时, 自耦变压器得到了人们的重视。现在, 自耦电力变压器已经大量使用于高压电力系统的升压和降压变电所中。

(4) 三线卷电力变压器 在大电网里, 常常需要在几个电压等级之间作电能的转换。在长距离传输电能的同时, 还需要照顾到线路经过地区用电量不大的用户, 以及在电力系统中联接调相设备, 此时采用三线卷电力变压器有显著的经济效益。因此三线卷的电力变压器和带有第三线卷的自耦电力变压器得到日益广泛的应用。

(5) 有载调压 电网的容量增长, 需要随时调整电压, 以便在各个发电厂和变电所之间, 电网各个区段之间经济地分配有功和无功负荷, 保持用户的电压稳定, 因此带负荷调整电压的装置发展很快, 有的国家甚至规定电压在10千伏以上, 容量在1000千伏安以上的电力变压器上, 都要采用有载调压方式。装设在电力变压器上的有载调压装置, 比专用的调压变压器具有比较多的经济优越性。如果在中性点接地的电力变压器的中性点侧安装调压装置, 成本更能大大降低。目前, 有载调压装置的结构还比较复杂, 对提高电力变压器的容量有一定的限制。

(6) 铝线卷 铜线卷的电力变压器要消耗大量的铜, 因此近年来广泛应用铝导线代替铜导线绕制电力变压器的线卷。在特性相同时, 铝线卷电力变压器比铜线卷电力变压器的成本低一些。只是由于一些技术上的原因, 例如铝的机械强度和导电率比铜差, 焊接技术比较复杂等等, 使得铝线卷多用于一些中、小型电力变压器, 近年来, 才逐渐发展到大型电力变压器。有些国家还用铝合金代替钢材制造电力变压器的附件以减轻设备重量。

2. 安装方面 电力变压器的单个容量增大时, 重量和外形尺寸也相应地增大, 于是就产生了如何把大型电力变压器从制造厂

运送到安装现场，以及安装中如何进行心部检查的问题。目前电力变压器单个容量的制造限制，很大程度决定于运输条件，解决这一问题的主要办法是：

(1) 采用导磁率比较高的冷轧硅钢片制造铁心 提高硅钢片的导磁率，相应地减少了钢和铜的重量，于是电力变压器整个心部的外形缩小，同时也减小了油箱的尺寸。用冷轧硅钢片制造的电力变压器，其重量比用热轧硅钢片制造的同容量，同一电压等级的电力变压器约轻15~20%。对于容量达100000千伏安的电力变压器，如果用热轧硅钢片制造，通常难以满足铁路运输的装载限制。

(2) 改变绝缘结构 采用压缩系数比较小的新型绝缘材料，缩短相邻线卷之间的距离，可以减小电力变压器心部的尺寸。在中性点接地的电力系统中，采用保护水平比较低的避雷器，能够适当降低电力变压器的绝缘和试验电压，从而也减小了电力变压器的外形尺寸和重量。

(3) 改变部件的结构 根据铁路运输的装载限制设计电力变压器的部件，例如把油箱做成分节式和钟罩式，采用电容型套管，从油箱的侧面引出高压套管，或者把高压套管倾斜和水平安装等措施，以降低电力变压器的总高度。采用三相五柱式铁心结构也可以减小三相电力变压器的体积和高度。

(4) 采用特制的装载车辆 通常用凹形车运输大、中型电力变压器，有些国家把电力变压器的油箱挂在前后分开的特制装载车的端架上抬起来运输，也有把电力变压器悬挂在没有底板的框架式运输车的中部运输。这些方法都能尽量减小电力变压器底部到铁路轨顶的距离，提高了由铁路运输电力变压器的极限容量。

(5) 拆卸电力变压器的附件，减少运输尺寸和运输重量 把大型电力变压器的散热器，套管等附件从油箱上拆下来单独运输，放出油箱里面的绝缘油不带油运输，拆除油箱的正式顶盖换装临时顶盖运输等等，都是减少电力变压器运输尺寸和运输重量

的常见措施。只有当电力变压器特大、特重，而且运输条件又极为不便时，才把电力变压器的心部拆开，把铁心、线卷等分别包装运输，到安装现场再行装配。

3. 提高效率方面

(1) 选择铁心的结构和材料 采用冷轧硅钢片制造的铁心，其铁损耗远小于热轧硅钢片制造的铁心。因为前者的单位损耗比较后者约低 $1/3$ 。此外，改进铁心的结构，例如把硅钢片的联结处做成斜的接头和采用卷制铁心等措施，以降低电力变压器的空载损耗。

(2) 减少附加损耗 由于漏磁通所引起的涡流和磁滞等附加损耗，常常使电力变压器的某些零件局部过热，对于大型电力变压器，此项损耗甚为可观，因此，常用电或磁的屏蔽，以及改变漏磁通回路的办法以降低这部分损耗。

(3) 改进冷却方式 油浸风冷是目前大、中型电力变压器常用的冷却方式，当电力变压器的容量达到100000千伏安以上时，则采用强迫油循环风冷或强迫油循环水冷等效率更高的冷却方式。采用高效率的冷却方式，可以减小电力变压器的尺寸和降低电力变压器的制造成本。因此，很多制造部门都在大力研究更好的电力变压器冷却方式，如象蒸发冷却，充气冷却以及线卷导体油内冷等，同时也在提高散热器的冷却能力方面采取措施。

第二节 我国的电力变压器

我国的电力变压器制造工业是解放以后才建立和发展起来的。

解放前，在帝国主义和反动派的统治下，我国的电机工厂只能制造一些低压的配电变压器，而且很多材料还要从外国进口，生产能力微不足道。制造出来的最大产品，容量仅达2000千伏安，电压不过33千伏。

解放后，在共产党和毛主席的领导下，电力变压器制造工业

战线的广大职工，遵循毛主席“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的教导，认真执行“独立自主、自力更生”的方针，在不长的时间内，使我国的电力变压器制造业得到突飞猛进的发展。现在，我国的电力变压器制造厂，不仅能够生产社会主义建设所需要的各种电力变压器，例如220千伏，300000千伏安和330千伏，360000千伏安的三相三线卷特大容量电力变压器，以及适用于各种用途的特殊新型变压器，而且建立了标准化的产品系列。每个系列中的零件和组件做到了标准化和通用化，简化了制造工艺，成批地进行大量生产。并且由于新技术和新材料的使用，不少产品达到世界的先进水平。

目前，我国制造的电力变压器具有以下特征：

(1) 高压线卷多用纠结式或连续式，低压线卷多用螺旋式或圆筒式。新型电力变压器的主要绝缘采用薄纸筒、小油隙结构。

(2) 大型电力变压器向着三相和自耦的方向发展。

(3) 线卷的联结方式基本标准化：

对于单相电力变压器，线卷的联结方式为1/1-12，1/1/1-12-12和0-1/1-12-12；

对于三相双线卷电力变压器，线卷的联结方式为 Y/Δ -11和 Y_0/Δ -11；

对于三相三线卷电力变压器，线卷的联结方式为 $Y_0/Y_0/\Delta$ -12-11和0- Y_0/Δ -12-11。

至于 Y/Y -12， Y_0/Y -12， Y/Y_0 -12， $Y_0/Y_0/Y$ -12-12，0- Y_0/Y_0 -12-12等联结方式只用于中、小型电力变压器和系统之间互相联络用的电力变压器。

(4) 采用铁心式结构，用冷轧硅钢片和热轧硅钢片制造铁心，与国外同类硅钢片制造的相似电力变压器比较，指标达到了先进水平。

(5) 冷却方式根据电力变压器的容量分别采取：小型配电变压器在油箱上焊装圆形散热管；容量在2000千伏安以上，10000

千伏安以下的电力变压器，装有可拆卸的管式散热器，采用油浸自冷；容量在10000千伏安以上的电力变压器，采用油浸风冷，开动风扇时，容量为100%，停止风扇时，容量为67%（或50%）；特大型电力变压器采用强迫油循环风冷或强迫油循环水冷。

（6）35千伏电压以下的套管，大量采用卡装式瓷套，60千伏电压采用充油式套管或者改进型的充油式套管，110千伏及以上电压采用电容式套管。

（7）铝线卷电力变压器有了很大的发展，不仅用在35千伏及以下电压的中、小型电力变压器，而且逐渐推广到高电压大容量的电力变压器，例如已经制造成功电压达220千伏，容量达300000千伏安的铝线卷电力变压器。电压在110千伏以下，容量在60000千伏安以下的铝线卷电力变压器，已经建立了产品系列，大批生产。

（8）采用凹形车运输电力变压器，以油箱带油运输为主，只有重量特大的电力变压器，才采用不带油并且充氮运输。对于大型电力变压器的抬运方式，正在研究试验当中。

（9）110千伏以上的新型变压器为全密封式，全部采用钟罩式油箱。10~60千伏的大容量电力变压器，也采用钟罩式油箱。

（10）普遍装用无激磁调压的分接开关，有载调压的分接开关也大量使用。

我国电力变压器产品系列所规定的容量，以前是采用R8系列，也就是容量按照 $\sqrt[8]{10}$ 的倍数增加，即：20，30，50，75，100，135，180，240，320，420，560，750，1000，1350，1800，2400，3200，4200，5600，7500，10000，13500，15000，20000，31500，45000，60000……千伏安。这一系列的电力变压器容量和发电机的容量并不完全配套，特别是10000千伏安以上的容量，其间的级差太大，满足不了发展的需要，所以在新的国家标准中，规定今后推广R10容量系列。

R10容量系列为优先数系，容量较密，便于选用。但是，当

容量大于50000千伏安以上时，仍有R8系列的缺点。考虑到电力变压器和发电机容量配套的需要，对于大容量电力变压器的容量，常常进行特殊规定。R10容量系列的电力变压器容量按照 $\sqrt{10}$ 的倍数增加，即：20, 30, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000, 31500, 40000, 50000, 63000……千伏安。

电力变压器高压侧和低压侧的电压组合同我国目前电力系统的使用电压相适应，即分别在下面的电压级别之中（括号里面的电压级别是非标准电压）：

输电超高压（千伏） 330, 220, (154), 110;

输电高压（千伏） 60, (44), 35, (22);

配电高压（千伏） 10, 6.6, 3.3;

配电低压（千伏） 0.40, 0.22;

对于升压和厂用变压器，为了配合发电机电力变压器的低压侧电压，还有13.8, 15.75, 18和20千伏等级别的电压。

高压侧和低压侧的电压同属于一个电压级别的电力变压器，大多是三线卷电力变压器，自耦电力变压器或者特殊用途的电力变压器。

电压高于110千伏，容量大于60000（或63000）千伏安的电力变压器，因为电压组合和技术要求都比较单一，大多数属于单台生产，而且产品还在不断的革新，所以设计和制造还没有形成系列。

我国电力变压器的分类和表示符号（即产品型号）见表1-1。每台变压器都有一个产品型号，该型号是以表示其特征的汉语拼音字母，按照表1-1的顺序组合起来，并加注额定容量（千伏安）和高压线卷的电压等级（千伏）。各个字母所代表的意义也列在表1-1中。

表1-1

电力变压器的分类和表示符号

序号	分 类	类 别	表 示 符 号
1	相 数	单 相 三 相	D S
2	线卷外绝缘介质	变压器油 空 气 成型固体	— G● C
3	冷却种类	自 冷 风 冷 水 冷	—● F S●
4	油循环方式	自然循环 强迫油循环	— P
5	线 卷 数	双 卷 三 卷	— S
6	调压方式	无激磁调压 有载调压	— Z
7	线卷导线材质	铜 铝	— L
8	线卷耦合方式	自 耦 分 裂	O● —●

●曾用符号“K”表示；

●老产品曾用符号“J”表示油浸自冷；

●曾用符号“W”表示；

●老产品规定：升压时，符号“O”列型号之后；降压时，符号“O”列型号之前；

●分裂线卷的电力变压器生产量还不大，代表符号未定。

在电力变压器的型号后面可以加注防护类型代号，例如，湿热带TH，干热带TA。有些老产品还在电压等级后面注明绝缘水平，例如，接地系统半绝缘J，接地系统降低绝缘JN。

举几个例子说明如下：

(1) SJ-180/10 三相，油浸自冷式，双线卷电力变压器，额定容量为180千伏安，高压线卷的额定电压为10千伏；