

机械工业知识丛书

输 变 电 设 备

西安高压电器研究所等编

机械工业出版社

TM5

1:2

机 械 工 业 知 识 丛 书

输 变 电 设 备

西安高压电器研究所 沈阳变压器研究所
机械工业部上海电缆研究所 西安电瓷研究所 编
西安电力电容器厂 许昌继电器研究所



机 械 工 业 出 版 社

输 变 电 设 备

西安高压电器研究所 沈阳变压器研究所
机械工业部上海电缆研究所 西安电瓷研究所 编
西安电力电容器厂 许昌继电器研究所

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $8\frac{1}{2}$ · 字数 223 千字

1975年10月北京第一版

1983年12月北京第二版·1983年12月北京第二次印刷

印数 35,001—47,200 · 定价 1.10 元

*

统一书号: 15033 · 5496

出版说明

为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《输变电设备》为本丛书之一。输变电设备是电力工业的重要组成部分，电站发出的强大电能，必须通过输配电系统才能输送到各个用户。本书通俗扼要地介绍了输变电设备在输配电系统中的作用与用途，并指出其可靠性的重要意义。书中分章介绍了电力变压器、高压开关、电线电缆、电瓷、互感器、避雷器、电容器和继电保护装置等的基本原理、结构、性能及制造工艺等。另外还专章介绍了高电压强电流的试验技术。

本丛书在编写过程中，各编写单位给予大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

本书是根据1975年第一版修订的。在这次修订中，编写单位对内容作了较大的修改和补充。

目 录

第一章 概述	1
一 电能的输送和分配	3
二 电力系统的保护	14
三 电容器和电抗器的特殊功用	19
四 输变电设备的成套技术	21
五 输变电设备的可靠性	25
第二章 电力变压器	30
一 电力变压器发展概况	31
二 变压器的基本原理	32
三 电力变压器的种类	34
四 电力变压器的结构和制造	36
五 电力变压器的一般技术要求	50
六 电抗器	52
第三章 高压开关	54
一 高压开关的分类与主要技术参数	57
二 简易开关电器	58
三 断路器	63
四 组合电器	78
五 高压开关的工艺与特殊材料	82
六 高压开关的发展趋势	89
第四章 裸电线与电力电缆	92
一 电线电缆基本结构	93
二 电线电缆的分类	93
三 电缆附件	104
四 电线电缆的主要材料	109
五 电线电缆的主要制造工艺	114
六 电线电缆的试验	127
第五章 高压绝缘子	131
一 概述	131



二	绝缘子的结构与特性	132
三	瓷绝缘子的原料及配方	144
四	瓷绝缘子的生产工艺	148
五	钢化玻璃绝缘子的生产工艺	152
六	绝缘子的检验与运行维护	153
第六章	互感器	155
一	电压互感器	155
二	电流互感器	161
第七章	高压避雷器	166
一	避雷器的基本原理	166
二	高压避雷器的电气性能	172
三	高压避雷器的结构及种类	175
四	阀片制造工艺	184
五	氧化锌避雷器	136
第八章	电力电容器	191
一	电力电容器的分类及其作用原理	192
二	电力电容器的主要材料	201
三	电力电容器的制造	204
四	电力电容器的试验	209
第九章	继电保护装置及自动装置	211
一	继电器及其动作原理	213
二	继电保护装置	224
三	自动装置	231
第十章	高电压、强电流试验技术	234
一	高压试验技术	235
二	强电流试验技术	248
三	可靠性试验	253
四	高电压、强电流试验技术的发展与工业性试验线路	255
附录		257
附录一	每万千瓦发电设备需配置的各类输变电设备的大致数量	257
附录二	输变电设备的产品型号	257

第一章 概 述

电力工业在国民经济中占有重要的地位。现代的工业、农业、交通、国防以及人民生活的许多方面，都离不开电。按我国目前的生产水平，一度电可灌溉农田 0.4 亩，生产化肥 1.2 公斤，织布 30 尺，炼优质钢 1.5 公斤，采原煤 105 公斤，供 25 瓦的灯泡点 40 小时。由于电能易于和其它形式的能量相互转换，输送方便，所以被广泛地作为能源。很多国家的统计资料表明，电能是直接消耗能源中所占的比例越大，则单位国民经济总产值所消耗的等值能源就越少。这就说明用电作为能源，具有很大的经济意义。随着国民经济的发展，世界各国对电力工业日益重视。据近十五年的统计，世界电力总消耗量年增长率达 7.5%，为世界各国平均国民收入年增长率的 1.4 倍，直接能源年增长率的 1.6 倍。这就是所谓的电力超前系数，它说明在经济建设中，电力工业确实起着极为重要的作用。

输变电设备，是电力工业的重要组成部分。正象自来水要从蓄水池抽到水塔，再经过水管、阀门、龙头才能送到用户处一样，电站发出的强大电能，只有通过输变电设备才能输送到各个用户。然而电力的输送和分配，比自来水的配给系统要复杂得多，图 1-1 是一个典型的变电站示意图。除了图中示出的电线 2、绝缘子 3、变压器 1、断路器 7、隔离开关 6、互感器 4 和避雷器 5 等设备外，还有电容器、阻波器、电抗器、电缆、套管和继电保护装置等，都是输变电中不可缺少的设备。由于输变电设备品种繁多，用量又大，因此电力工业中用于输变电设备的投资，一般都大大地超过了发电设备的投资。如据英、美、西德等国统计，用于输变电设备的投资，约比用于发电设备的投资多 17~74%。

为适应电力工业发展的需要，目前世界各国都在竞相发展大

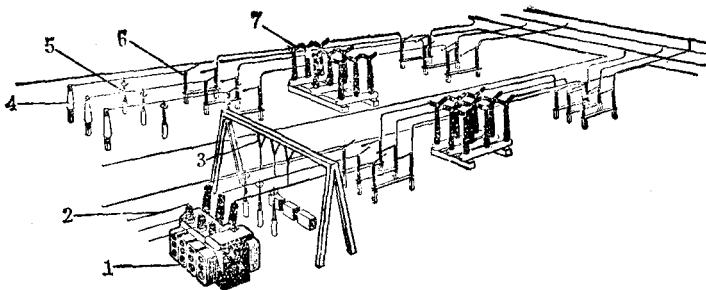


图 1-1 变电站示意图

- 1—变压器 2—电线 3—绝缘子 4—互感器
5—避雷器 6—隔离开关 7—断路器

型电站，装机容量在百万千瓦以上的电站不断涌现，最高者已逾1000万千瓦。

大型电站的出现，促使电力输送向超高压、大容量、远距离发展，否则强大的电能便无法送到遥远的负荷中心。1952年世界上的最高输电电压仅为380千伏，而十年后的1962年便出现了750千伏级的超高压输电线路。到七十年代初期，世界上400~500千伏的超高压输电线路约为49000公里，750千伏级的超高压输电线路约有2000多公里。1100千伏甚至更高电压等级的特高压输电问题，有些国家亦已着手研究。

随着输电电压和输送容量的不断提高，输变电设备的容量也大幅度上升。六十年代初，电力变压器的最大容量仅为60万千瓦安，至1971年已发展到130万千瓦安，十年之内增长了一倍多。七十年代初期，1100千伏等级的特高压断路器样机已经问世，最大断流容量达六万五千兆伏安，比十年前增长了1.6倍。从这里可以看出高压输电和输变电设备正向超高压、大容量发展的趋势。

我国人口众多，土地辽阔，水力资源和煤炭的蕴藏量极为丰富，单是水力资源就在5.8亿千瓦以上，约相当于我国现有发电能力的十倍。我们本应利用这些良好的自然条件，建设更多的电站，在发展高压和超高压输变电事业方面作出更大的贡献。然而解放前，我国的电力工业长期以来一直处于一个极其落后的状况。为

电力工业提供装备的输变电设备制造工业，更是落后。全国能生产输变电设备的只有几家以修配为主的小厂，设备陈旧、技术落后、产量低微，所生产的少数产品也都是仿制品。在旧中国，不仅不能用自己的力量装备象 110 千伏、220 千伏和 330 千伏等级的高压输电线，就是 10 千伏等级的设备，绝大多数也要靠国外进口。

解放以后，我国输变电设备制造事业从无到有，从小到大，得到了迅速的发展，取得了很大的成绩。目前，我们的输变电设备制造工业已初具规模，形成了一个能够独立自主地向前发展的完整体系。我们不仅拥有一定数量的大、中、小结合的制造工厂，而且有自己的试验基地和相应的技术力量。我们已经能够完全依靠自己的力量，装备 10~500 千伏各个电压等级的输配电线路，并正在进行 750 千伏和更高电压等级的超高压输变电设备的研制工作。这将标志着我国的输变电设备制造事业，已跨入超高压领域的崭新阶段。但是我们更应该看到，我们的输变电设备制造工业目前仍然远远不能满足四个现代化的需要。从技术水平方面看，与大型水电站配套所需的 750 及 1000 千伏成套输变电设备的技术尚未掌握；从产品质量上看，国产输变电设备平均运行事故率约比国外先进水平高好几倍。总的来说，我国的输变电设备制造水平还落后于国外的平均先进水平 15~20 年，有待于我们奋起直追，迎头赶上。

一 电能的输送和分配

1. 高压输电

电力最大的优点之一，是输送方便，可以集中生产，分散使用。但是电怎样才能输送到几百甚至上千公里以外的地方呢？我们知道，水管里的水所以会流动，是因为有水位差——水压。由于水在水管中流动时要逐渐损失水压，所以要想把水输送得远些，就得增加水压。电流的输送和水流很相似，电之所以能流动，是因为有电位差——电压，电压越高，输送距离也越远，见图 1-2。实践证明，在日用电压 220 伏下，电力只能输送一公里多，如果把电输送

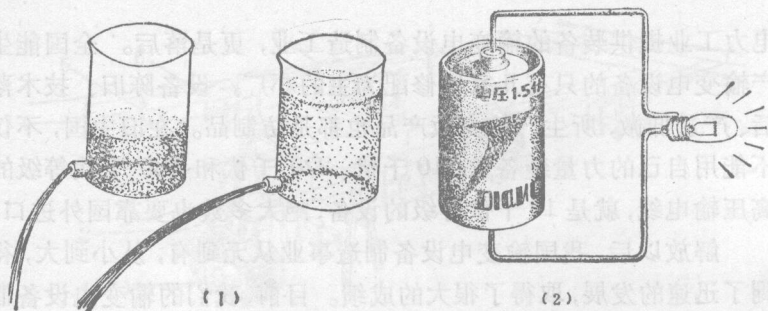


图 1-2 水能流动,是因为有水压;电能流动,是因为有电压
(1) 水压 (2) 电压

一百公里,则需要 110 千伏以上电压[⊖]。

提高输电电压的另一好处,是可以在保证输送容量的条件下,

采用较细的导线。这是因为电的能量决定于它的电流和电压,好象水流的力量决定于水压和流量一样,如图 1-3 所示。当输送容量一定时,提高电压就可以相应地减少输送电流,因而可以采用较细的输送电流的导线。打个比方来说,为把新安江电站发出来的巨大电力送到上海去,如果用我们日常用的 220 伏电压,则需采用几米粗的导线。但如把电压提高到 220 千伏,只要用几厘米粗的导线便可以了。实际上,由于制造、架设和经济上的原因,导线也不可能作得太粗。因此,要增加电的输送

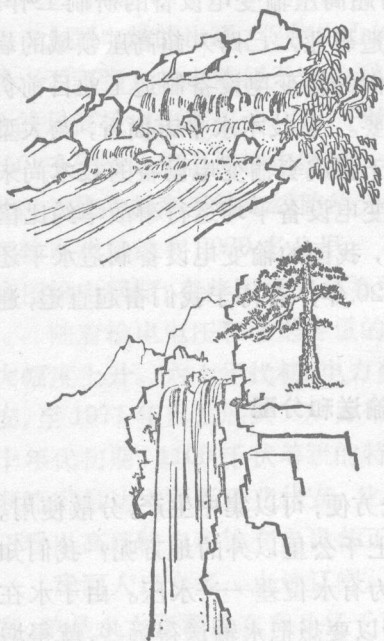


图 1-3 提高水位差,可在较小流量下
取得低水位、大流量下同样的能量

⊖ 本书除特别注明以外,所指电压皆为交流电的电压。

容量和距离，必须提高输电电压。表 1-1 列出了输电电压与输送距离及输送容量的大致关系。从表 1-1 中可以看出，输电电压提高一倍，输送距离也可以提高一倍，而输送容量可以增加三倍。

表 1-1 输电电压与输送距离、容量的关系

输电电压 (千伏)	10	35	110	220	330	750
输送距离(公里)	6~20	20~50	100~150	200~300	250~500	600~1000
经济输送容量(百万瓦)	0.2~2	2~10	30~70	120~250	300~600	1000~2000
线路造价(万元/公里)	0.3~0.6	1~1.8	3~4	8~10		

随着电力工业的发展，要求输电电压不断提高，但由于制造困难，发电机发出来的电压一般不超过 30 千伏。通常为把发电机发出来的强大电力经济地输送出去，必须首先把电压提高，然后通过输电线送出去。由于安全及经济的原因，日用电压不超过几百伏，因此输送到目的地之后又要经过降压才能使用。图 1-4 是一个简单的输电系统示意图。

实际的电力系统，比图 1-4 所示的要复杂得多。首先，一个电厂要向好多用户供电，这些用户彼此还可能相距很远。如新安江水电站发出的电，不仅要供给上海地区的广大用户使用，而且也要供给南京、杭州等其它地区使用。新安江电站的电，用 220 千伏的电压送到上海后，还要根据用户的远近、用电量的大小分别降到 110 千伏、35 千伏或 10 千伏，然后再送到用户中心地区，并逐级降到 220 伏或 380 伏，才能供用户直接使用。由发电电压升到输电电压，只需要升高一次，而由输电电压降到用户能直接使用的电压，通常要经过好几次。

一个电力系统中的发电设备的能力，不仅要按用电最多的情况来考虑，而且还必须有备用机组。也就是说，一个电力系统发电设备的能力，应比最高用电量要大。为了提高供电的可靠性和充分发挥发电设备的作用，在实际电力系统中，往往把一个地区甚至几个地区的所有发电厂及用户都通过输变电路连成一片，好象

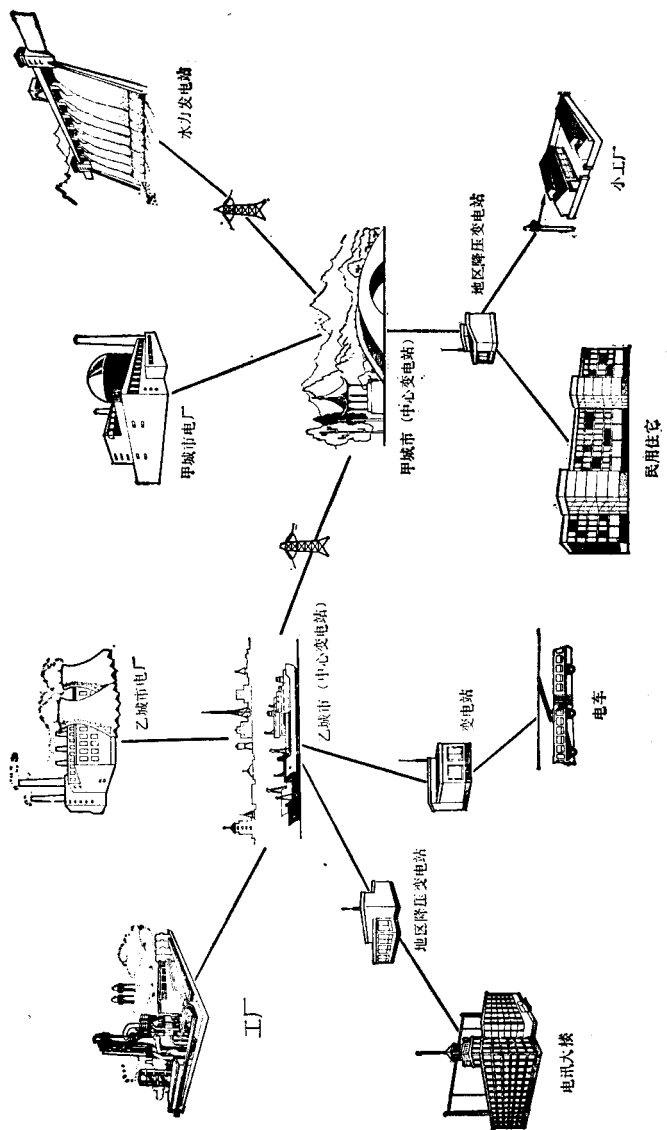


图 1-5 电力系统示意图

蜘蛛网一样构成联合电力系统。这样一来,不仅用电量变化的幅度可大大减小,而且各个电厂还可以相互支援。联网中的发电设备利用率,一般比单台发电机供电系统的利用率约要高20~35%。图1-5为一个电力系统的示意图。

2. 输变电的基本电气设备

1) 电线电缆

传送电流离不开电线电缆,好象自来水的传送离不开水管一样。按结构分,电线电缆可分为两大类:一类是结构比较简单的裸电线;另一类是包了绝缘层和护套,表面不带电的电缆。裸电线结构虽然简单,但用量最大,一条长500公里,输送容量40万千瓦的线路,约需要裸电线(架空线)四千多吨。在所有的输变电设备中,电线消耗的有色金属最多,所以合理选用电线的材料和结构,有很大的经济意义。超高压输电线的两杆塔之间的距离,一般可达数百米甚至数公里。这样长的导线本身就有很大重量,再加风、雪、冰的负担,由此可知导线的负荷就相当可观了。因此选择电线时,不仅希望它以最少的材料传输尽可能多的电流,而且还要使其有足够的机械强度。

电缆的用量比架空线少得多,但它具有占空间小、受外界干扰少、安全可靠等优点。一些大城市中的输配电线路或发电厂内发电机到变压器的连接线常采用电缆。电缆不仅可以埋在地里,而且可以敷设在水底,因此在一些跨江过海的地方更离不开电缆。电缆的制造比架空线复杂得多,这主要是因为要保证它的外皮和导线间的可靠绝缘。输配电用的电缆,称为电力电缆。常见的电缆的几种用途,如图1-6所示。

2) 变压器

变压器是利用电磁感应原理改变电压的设备。前面已经提到,发电机发出的电,要升高电压才能送到远方;升高电压后的电能送到目的地后,要降低电压才能使用。电压每改变一次,都需要变压器,根据升压和降压的不同作用,分别称为升压和降压变压器。变压器的种类很多,除了升压和降压变压器外,还有联络变压

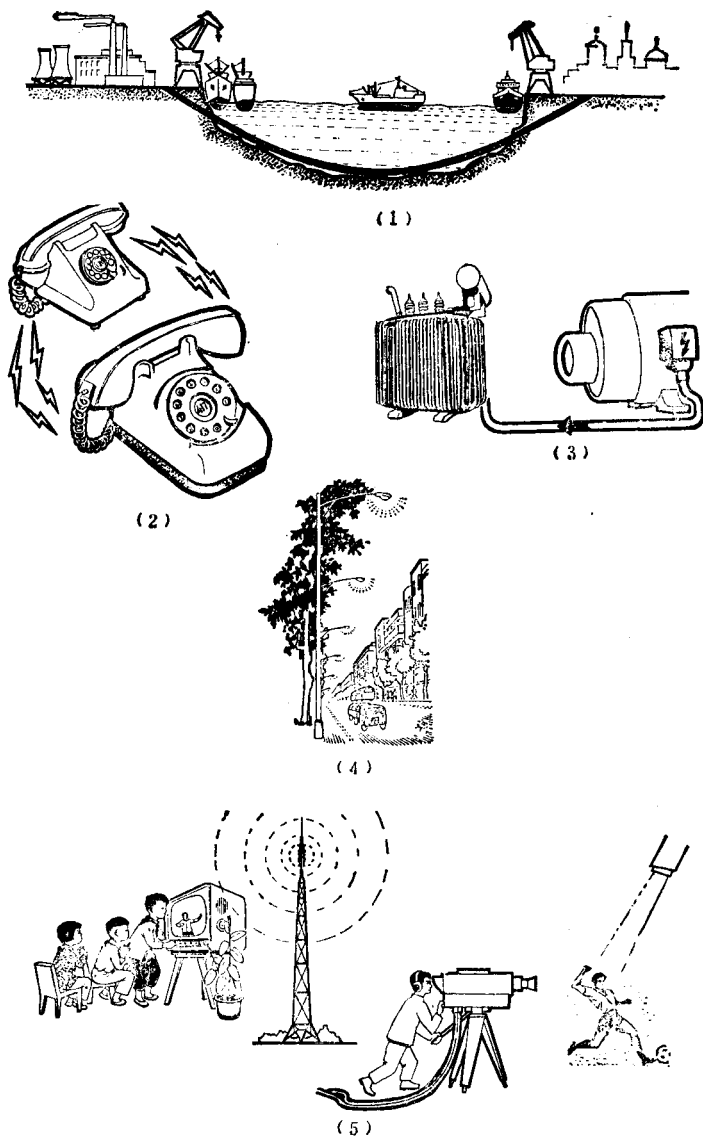


图 1-6 电缆的用途

- (1) 跨江过海的水底电缆 (2) 电话用通讯电缆 (3) 连接发电机与变压器的电缆 (4) 城市地下送用电缆 (5) 电视用电视电缆

器、隔离变压器和调压变压器等。联络变压器的作用,是将相互邻近的,在正常情况下并不进行大量能量交换的电网联接在一起,以便在一旦需要的时候能够相互支援。隔离变压器的作用,是减小同一电网中相同电压一部分间的相互干扰,但仍能保持正常情况的联接。运行中还常常希望对电压进行一定的调整,这时就用得着能部分调整电压的调压变压器。据统计,电力系统中每装一千伏安发电设备,需要增加6~8千伏安变压器。变压器的用途,如图1-7所示。

3) 开关

如图1-8所示,自来水的控制离不开阀门和水龙头,电流的控制离不开开关设备。高压开关,是一种电气机械,它的根本任务是完成电路的接通和切断,达到电路的转换、控制和保护的目的。但高压开关和日常生活中使用的开关差别极为悬殊。常见的日用开关不过几两重,而高压开关有的重达几十吨,甚至有的高达为几层楼高,价值数十万元,见图1-9。日常用的开关只承受220伏的电压,而高压开关则要承受几万伏、几十万伏甚至上百万伏的电压。电压越高、电流越大,开关也就越大,制造起来也就越困难。日常用的开关如果坏了,所影响的只是一间房子和一幢楼的问题。一个高压开关如果失灵,则可能使好多电厂及用户与电力系统断开,使许多工厂失去动力,好多座城市失去照明。按照接通及切断电路的能力,高压开关可分为隔离开关、断路器、负荷开关和熔断器四大类。最简单的是隔离开关,它只能在电路中基本没有电流时,接通或切断电路。但它有明显的断开间隙,一望而知线路是否断开,因此凡是要将设备与线路断开进行检修的地方,都要装隔离开关以保证安全。断路器是开关中最复杂也最重要的一种,它既能在正常情况下接通及切断电路,又能在事故情况下切、合电路。此外,还有在电流小于或接近于正常时切、合电路的负荷开关和电流超过一定值切断电路的熔断器。据统计,每万千瓦发电设备需要90~110台高压断路器,250~300台隔离开关,320~400组高压熔断器。

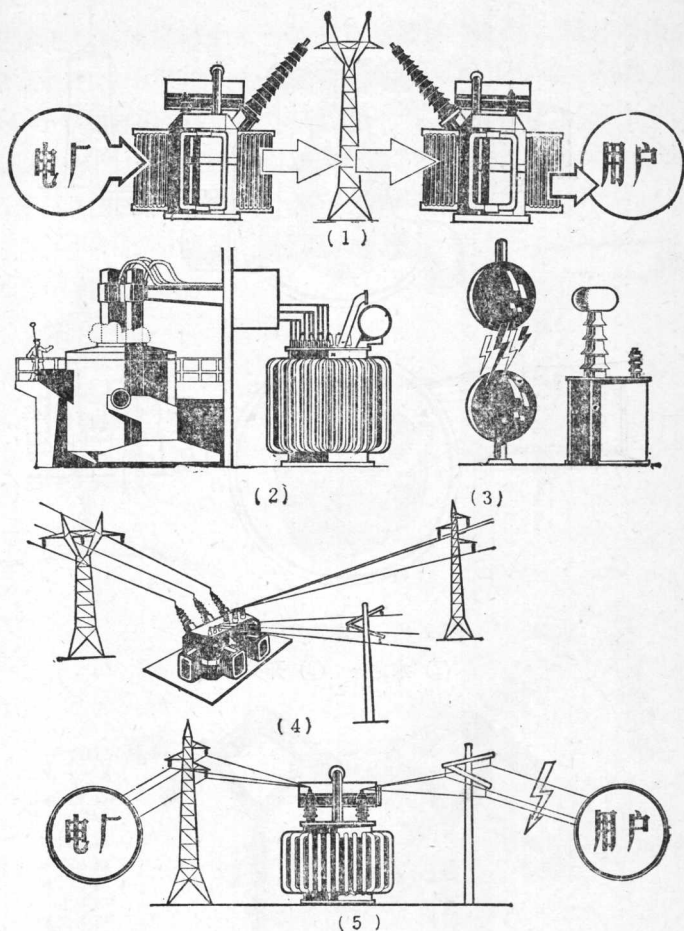


图 1-7 变压器的用途

- (1) 升(降)压变压器 (2) 特种变压器 (3) 试验变压器
(4) 联络变压器 (5) 隔离变压器

4) 高压电瓷

高压电瓷,是专门用在高电压下工作的一种特殊绝缘瓷器,由于它的绝缘性能比较稳定,不怕风吹、日晒、雨淋,因此各种高压输变电设备(尤其是用于户外的),均广泛采用高压电瓷作为绝缘件。如架空导线,必须通过瓷绝缘子挂在电线杆上才能保证绝缘。在