

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

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
上海电缆研究所 西安电瓷研究所 编
西安电力电容器厂 许昌继电器研究室



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
上海电缆研究所 西安电瓷研究所 编
西安电力电容器厂 许昌继电器研究室
(只限国内发行)

*

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 $7 \frac{9}{16}$ · 字数 191 千字
1975 年 8 月北京第一版 · 1975 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—35,000 · 定价 0.63 元

*

统一书号: 15033·(内)629

出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”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，必须通过输变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。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一 电能的输送和分配	4
二 电力系统的保护	15
三 电容器和电抗器的特殊功用	20
四 输变电设备的可靠性	23
五 输变电设备的绝缘及其参数配合	23
第二章 电力变压器	26
一 变压器的基本原理	27
二 电力变压器的种类	29
三 电力变压器的结构和制造	32
四 电力变压器的一般技术要求	45
五 电抗器	48
第三章 高压开关	50
一 高压开关的分类与主要技术参数	54
二 简易开关电器	55
三 断路器	59
四 组合电器	72
五 高压开关的特殊材料与工艺	76
第四章 裸电线与电力电缆	80
一 电线电缆基本结构	81
二 电线电缆分类	82
三 电缆附件	89
四 电线电缆的主要材料	94
五 电线电缆的主要制造工艺	97
六 电线电缆的试验 (检验)	103
第五章 高压电瓷	106
一 电瓷的结构与特性	107
二 电瓷的原料及配方	117

三	电瓷的生产工艺	121
第六章	互感器	126
一	电压互感器	126
二	电流互感器	132
第七章	高压避雷器	138
一	避雷器的基本原理	138
二	高压避雷器的电气性能	145
三	高压避雷器的结构	148
四	阀片制造工艺	158
第八章	电力电容器	161
一	电力电容器的分类及作用原理	162
二	电力电容器的主要材料	171
三	电力电容器的制造	174
四	电力电容器的试验	178
第九章	继电保护装置及自动装置	180
一	继电器及其动作原理	182
二	继电保护装置	195
三	自动装置	202
第十章	高电压、强电流试验技术	206
一	高压试验技术	210
二	强电流试验技术	220
三	高电压、强电流试验技术的发展与工业性试验线路	225
附录	228
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	228
附录二	输变电设备的产品型号	228
附录三	研制输变电设备所需的高压试验设备	236

第一章 概 述

电力工业在国民经济中占有重要的地位。现代工业、农业、国防、交通以及人民生活都离不开电。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。随着生产的发展，世界各国对电力工业越来越重视。近十年来，世界钢铁总产量每年平均增长率约为 6.27%，而同一时期总发电量每年平均增长率却达到 8.02%。这说明了电力工业在经济建设中确实是起着“先行官”的作用。

输变电设备是电力工业的重要组成部分，正好象自来水要从蓄水池将水抽到水塔，再经过水管、阀门、龙头等才能送到用户一样，电站发出的强大电能通过它才能输送到各个用户。然而电力的输送和分配比自来水系统复杂得多，图 1-1 是一个变电站的示意图。除了图中所示的电线 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、套管、阻波器、电缆、电抗器和继电保护装置等，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，一般都超过了发电设备的投资。

为适应电力工业迅速发展的需要，目前世界各国都在竞相发展大型电站，装机容量在百万千瓦以上的电站不断涌现，最高者近 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

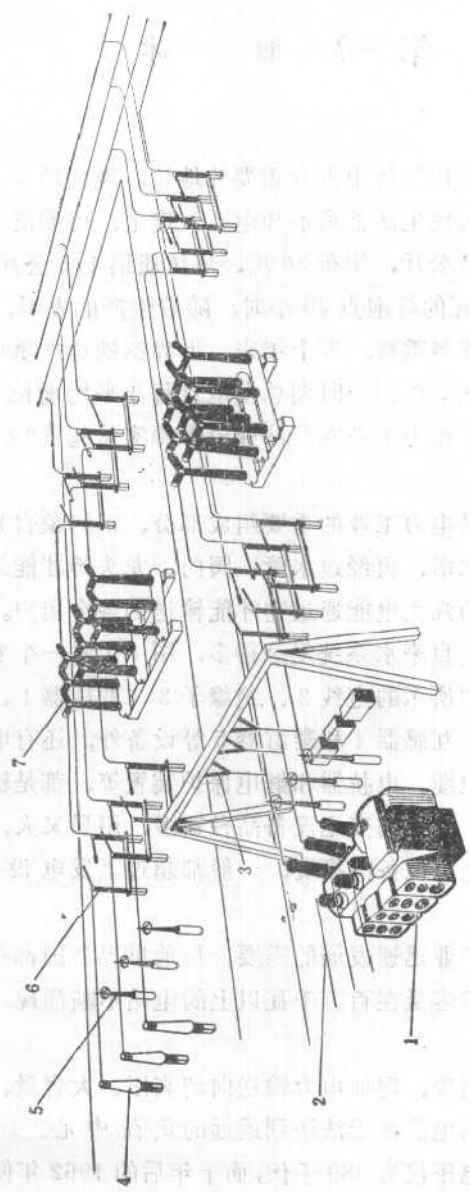


图1-1 变电站示意图

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

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超高压输电的问题，有些国家已着手研究。

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在大幅度上升。六十年代初电力变压器的最大容量仅为 60 万千伏安，至 1971 年已发展到 130 万千伏安，十年之内增长了一倍多。七十年代初期，1100 千伏等级的高压断路器已经问世，最大断流容量达到 6 万 5 千兆伏安，比 10 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向超高压、大容量发展的趋势。

毛主席教导我们说：“因为中国是一个具有九百六十万平方公里土地和六万万人口的国家，中国应当对于人类有较大的贡献。而这种贡献，在过去一个长时期内，则是太少了。”^①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，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为人类作出更大贡献。然而解放前我国的电力工业和其它工业一样，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，更是破烂不堪。全国能生产高压输变电设备的只有以修配为主的几家小厂，规模狭小、设备陈旧、技术落后、产量低微，而所生产的少数产品也都是依葫芦画瓢的仿制品。在旧中国，不仅不能用自己的力量装备像 110 千伏、220 千伏和 330 千伏等级的高压输电线路，就是 10 千伏等级的线路所需设备，绝大多数也要依靠国外进口。

解放以后，我国输变电设备的制造事业，在毛主席无产阶级革命路线指引下，“自力更生、奋发图强”，从无到有，从小到大，得到了飞速的发展，取得了巨大的成绩。我们的输变电设备制

① 摘自《纪念孙中山先生》，一九五六年十一月十二日《人民日报》。

造工业已经初具规模，形成了一个比较完整的体系。我们不仅拥有一定数量的大、中、小结合的制造工厂，而且有自己的试验研究基地和相应的技术力量，具备了独立自主地向前发展的必要物质基础。我们已经能够完全依靠自己的力量装备 10~330 千伏各个电压等级的输配电线路，并正在进行 550 千伏、750 千伏等级的超高压输变电设备的研制工作。它标志着我国的输变电设备制造事业，已跨入向超高压领域迈进的崭新阶段。

一、电能的输送和分配

1. 高压输电

电力最大的优点之一，是输送很方便，可以集中生产，分散使用。例如新安江电站发出的电，可以送到几百公里以外的上海或更远的地方使用。但是电怎样才能输送到几百公里以外的地方呢？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，就得增加水压。电流的输送和水流很相似，电之所以流动是因为有电位差——电压，电压越高传送距离也越远（见图 1-2）。实践证明，在日用电压 220 伏的情况下，电力只能传送 1 公里多；要把电输送 100 公里以上，则需要 110 千伏以上的电压。●

提高输电电压的另一个好处，是可以采用较细的导线。这是因为电的能量决定于它的电流和电压，好像水流的力量决定于它的流量和水压一样，如图 1-3 所示。当输送能量一定时，提高输电电压就可相应地减少输送电流，采用较细的导线。如果把新安江电站发出来的巨大电力输送到上海去，若用 220 伏电压，采用几米粗的导线都不够。但用 220 千伏电压，只要用几厘米粗的导线就可以了。实际上，由于制造和架设上的困难以及经济等原因，导线也不能作得太粗。因此，要增加输送容量和增大输送距离，

● 本书除特别注明以外，所指电压皆为交流电的电压。

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电容量的大致关系。从表 1-1 中可以看出，输电电压提高 1 倍，输送距离也可以提高 1 倍，而输送容量约可增加 3 倍。

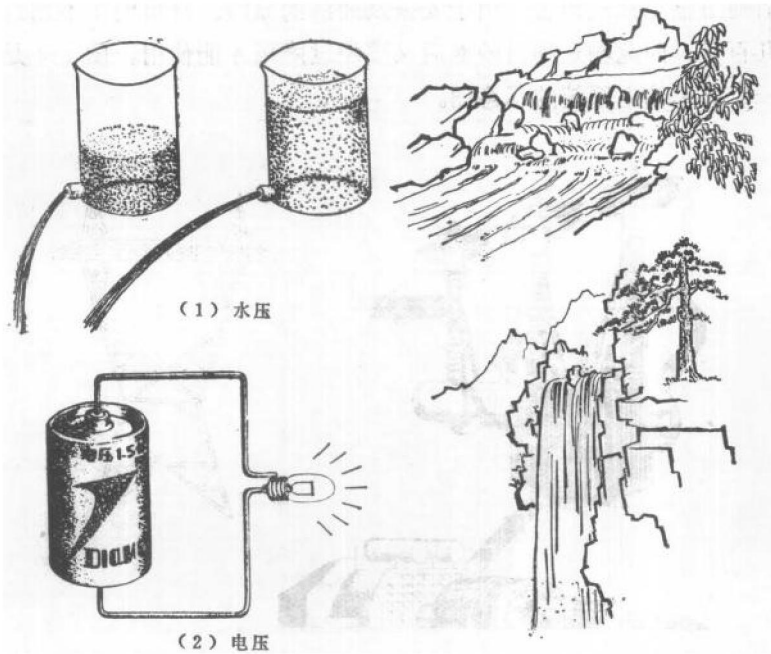


图1-2 水能流动是因为有水压；电能流动是因为有电压

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

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	500~1000
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。因此，要把发电机发出来的强大电力经济地输送出去，首先必须把电压提高，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，因此输送到目的地后又要经过降压才能使用。图 1-4 是一个简单输电系统的示意图。

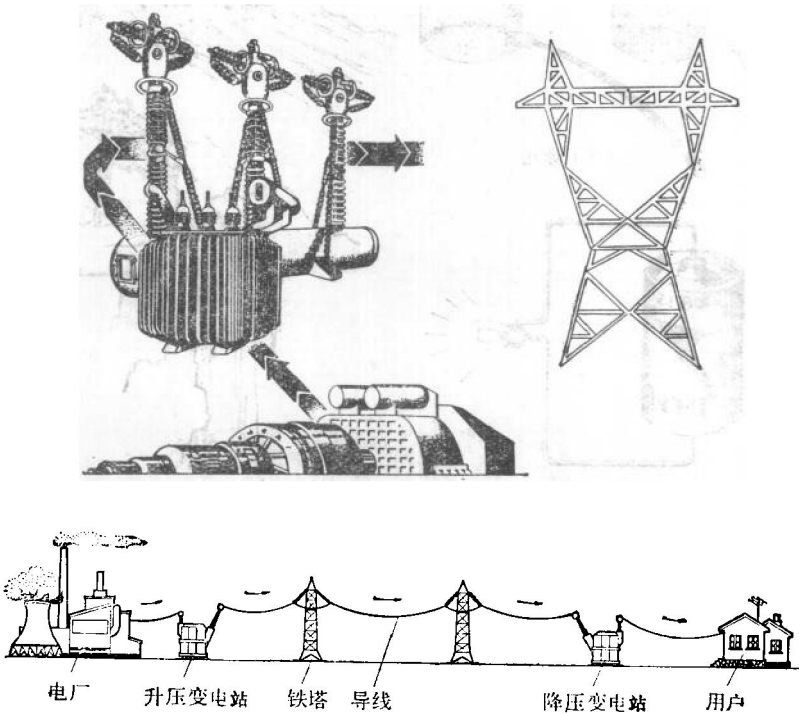


图1-4 交流输电示意图

实际的电力系统，比图 1-4 所示要复杂得多。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。如新安江电站发的电，不光要供给上海地区的广大用户使用，也要供给南京或其它地区使用。新安江的电用 220 千伏送到上海后，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，然后再送到各个用户地区中心，逐级降到 220 或 380 伏，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，而由输电电压降到日用的配电电压，却要经过好几次。

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发电能力，应比最高的用电量还要大。我们知道，由于多方面的原因，实际用电量的大小是有很大波动的，因此便存在一个供求关系的协调问题，有一个充分发挥发电机的作用与可靠地供电问题。为了提高供电的可靠性和充分发挥发电设备作用，在实际的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配电线路及设备连成一片，好像蜘蛛网一样构成联合电力系统。这样用电量变化的幅度就大大减小，各个电厂还可互相支援，一般发电设备利用率比单台发电机供电系统的利用率约提高 20~35%。图 1-5 为一电力系统的示意图。

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，正好像自来水要经水管传送一样，电线电缆按其结构可分为两大类：一类是结构比较简单，不穿衣服或只穿简单衣服的称电线；另一类是穿了特殊绝缘衣服和盔甲，表面不带电的称电缆。电线中最简单的是什么衣服也不穿的裸电线。裸电线结构虽然简单，但是用量最大，一条长 500 公里、输送容量 40 万千瓦的线路约需裸电线（架空线）4 千多吨。在所有输变电设备中，它消耗的有色金属最多，所以合理选择电线的材料和结构有很大的经济意义。设计时不仅希望它以最少的材料传送最多的电流，而且要求它有足够机械强度。因为超高压电线杆彼此相距一般可达数百米，有的甚至达数公里。这样长的导线本身有一定重量，再加风、雪、冰的负担，因此对导线强度提出了很高的要求。

电缆的用量比架空导线少得多，但是因为它有占空间小、受

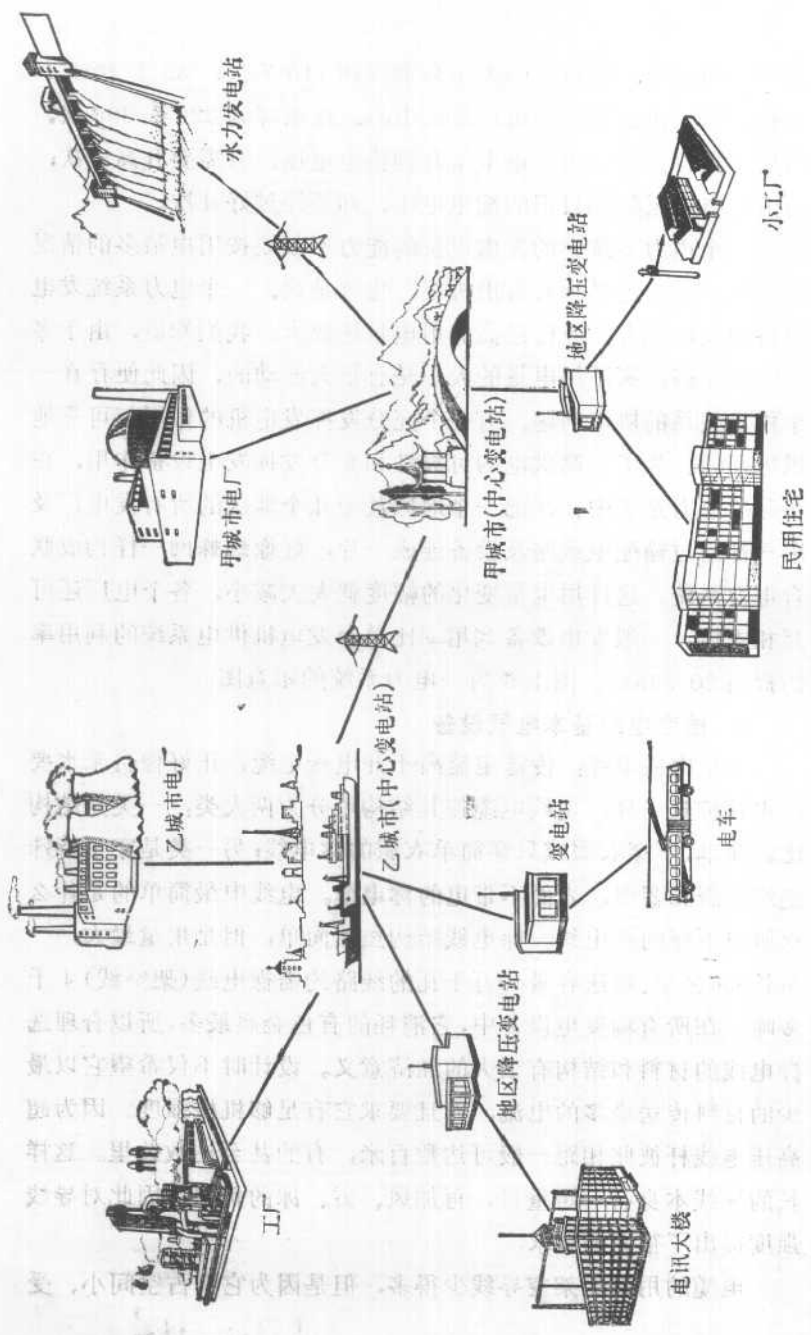


图1-5 电力系统示意图

外界干扰少、比较可靠等优点，所以占有特殊地位。如一些大城市中的输配电线路或发电厂从发电机到变压器的连接线常采用电缆。电缆不仅可埋在地里，也可浸在水底，因此在一些跨江过海的地方更离不开电缆。电缆的制造比架空导线复杂得多，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。此外还有供通讯用的通信电缆（图 1-6）。一根通

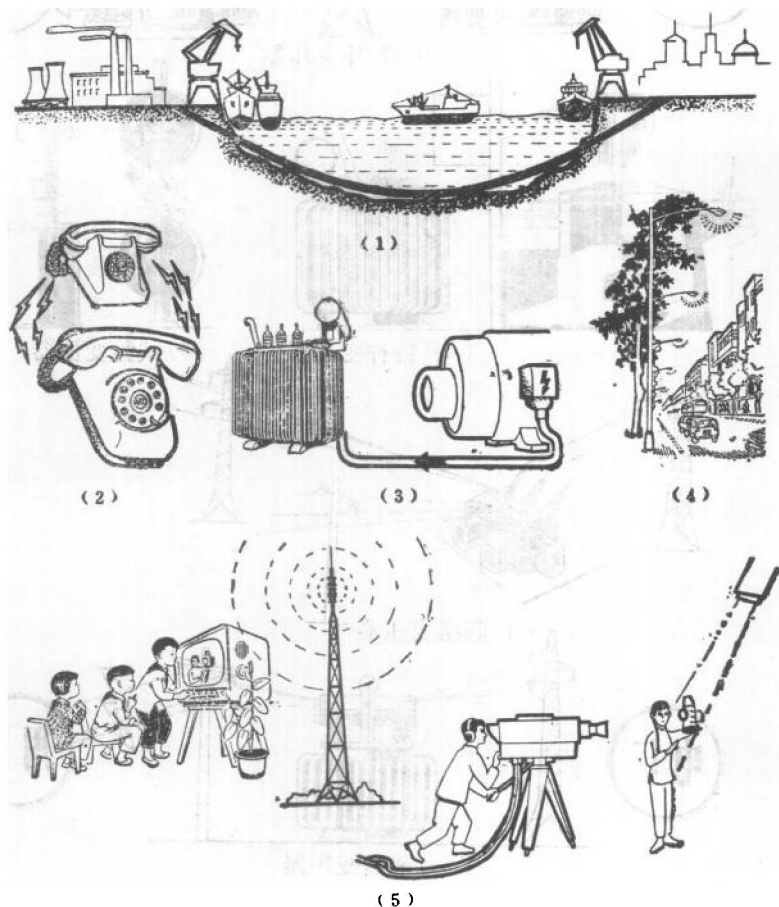


图1-6 电缆的用途

(1) 跨江过海的海底电缆；(2) 电话用通信电缆；(3) 发电机到变压器之间用电缆更为安全；(4) 城市地下送电；(5) 电视用电视电缆

信电缆中可同时放好多根小电线，既方便又安全。

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得远，输电线上的电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。如要把新安江电站的电送到上海地区使用，在电站要装一台变压器，这台变压器输入端（又称原边或一次侧）电压和发电机电压相同（13.8千伏）输出端（又称副边或二次侧）电压和输电线始端电压相同（242千伏），这种输出端电压比输入端电压高的变压器即称为升压变压器。电送到上海后，为供给郊区公社使用，还需要很多变压器把电压由220千伏逐级降到220或380伏，这些变压器输出端电压比输入端电压低，因此称为降压变压器。变压器的种类很多，除了有升压和降压作用的升压变压器和降压变压器外，还有联络变压器、隔离变压器和调压变压器等。例如几个邻近的电网，尽管平时没多大能量交换，但有时还是希望它们能建立一定联系，以利于相互支援，这种起联络作用的变压器称为联络变压器。两个电压相同的电网，也常希望通过变压器再连接，以减少一个电网的事故对另一个电网的影响。这种变压器称为隔离变压器。如在电厂附近的用户，本来直接以发电机电压送电就可以了，但为了保护发电机，往往采用隔离变压器。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变压器（如感应电压调整器、带负载调压的变压器）。据统计，电力系统中每装1千伏安发电设备，需要增加5~7千伏安变压器。变压器不仅在电力系统中不可缺少，在其它方面也大有用途。例如，科学研究中常用特殊的试验变压器来产生高电压；电炉及电焊中利用专门的变压器来产生大电流；大家熟悉的X光机，要用特殊变压器来产生X光管所需要的高电压（图1-7）。若把这些特种变压器也包括在内，则变压器的总容量约相当于发电设备总容量的7~9倍。