

761 85-
T246

建筑电气设计与施工

唐 海 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑电气设计与施工/唐海主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2000.9
ISBN 7-112-04179-1

I. 建… II. 唐… III. ①房屋建筑设备: 电气设备-建筑设计 ②房屋建筑设备: 电气设备-工程施工
IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 18285 号

本书全面介绍建筑供电设计、施工安装、质量管理等内容, 全书共分六篇 34 章, 第一篇基础篇, 主要介绍电气识图、高低压电气设备。第二篇供电篇, 主要内容是建筑工程供电方式、电力负荷的计算、变电所的主结线方式、室内外配电线路、继电接触控制与保护、电力管理、变配电所的设计与施工等。第三篇照明篇, 主要介绍光度学、电光源和灯具、照明设计计算和施工。第四篇减灾篇, 主要介绍安全用电防护技术、防雷、防火、防盗和防爆技术。第五篇信息篇, 主要介绍 CATV 系统、有线通讯系统、电声和广播系统及楼宇自动化。第六篇应用篇, 主要介绍单项工程供电设计、概算、电脑辅助设计、工程监理、施工管理、质量验收。

本书特点是内容丰富, 文字简练, 图文并茂, 深入浅出, 反映了国内外建筑电气新技术、新产品、新设备, 实用性强。本书可供建筑电气设计与施工工程技术人员使用, 也可供有关专业师生培训、参考。

建筑电气设计与施工

唐 海 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 81½ 插页: 2 字数: 1978 千字

2000 年 9 月第一版 2000 年 9 月第一次印刷

印数: 1—3,500 册 定价: 106.00 元

ISBN 7-112-04179-1

TU·3306 (9655)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

在 21 世纪,全世界的建筑市场主要在我国,这是举世瞩目的。为此,许多有识之士看好这一机遇,积极培养建筑技术人才,学习建筑设计与施工技术。

随着社会的进步,建筑工业和建筑技术正在迅速发展,建筑电气化、自动化程度越来越高,国家制定和修订了一批新的设计标准和电气施工规范。国内外的建筑电气新技术新产品和设备不断地应用于实际工程之中,因此迫切需要一本全面介绍建筑供电设计、施工安装、质量管理以及教学参考等方面的书籍。

为了满足广大建筑工程技术设计和施工人员的需要及在职建筑工程设计、教学、施工人员的需要,作者编写了《建筑电气设计与施工》这本综合性参考书。本书采用了与 IEC (国际电工委员会) 一致的最新的电气图形符号及文字标注规范,以便和国际标准接轨。

本书可以作为“建筑供电设计”、“建筑电气施工”及“电气工程质量管理”等课程的综合参考书。也可以作为大专、职业高中有关专业学生的参考教材或在岗的工程技术人员工具书使用。

本书的特点是文字简炼、图文并茂、深入浅出、理论联系实际。为了帮助读者具体掌握建筑工程技术知识,对每章重点内容编写了大量习题,并附有参考答案,所以也适合于自学参阅。

本书由清华大学建筑设计研究院唐海主编,参加编写的还有北京建筑工程学院唐定曾、清华大学钱根南、建工集团朱鲜华、北京公安局基建管理科崔顺芝。

第一篇 基础篇

1 入门

1.1 电力技术的发展

1.1.1 电磁现象

自然界的电闪雷鸣很早就引起了人们的注意。在我国商代（公元前 16 ~ 公元前 11 世纪）的甲骨文中就出现了“雷”字，它是按照古人造字的象形原则，字的上半部分象形雨点，下部分象形车轮，以代表隆隆的声音。“電”字出现在周朝（公元前 1100 ~ 公元前 771 年）的青铜器上。字的上半部分代表雨点，下半部分代表闪电。英文中电字 electricity 是 16 世纪由 William·Gibert（威廉姆·吉尔伯特 1544 ~ 1603 年）提出，他是从希腊文字中的琥珀（ηλεκτρον）引伸出来的，因为这时知道摩擦琥珀可以生电。

中国古代人们对雷电的观察十分细致，在《易经》中多次记载着雷电现象，如“雷在天上”、“泽上有雷”、“雷出地”等等。雷电给人以深刻的印象，还可以从一些谚语中看到，如雷霆万钧、迅雷不及掩耳、风驰电掣等。在中国，人们认为有雷公电母这些神仙用雷电作为惩罚坏人的武器。欧洲斯堪的那维亚半岛人相信雷电是雷神（Thor）的锤子敲打，希腊人则认为是宙斯（Zeus）发怒时的吼声和射出的箭。

雷电现象是自然界所固有的，人们能够控制并重复实现的电学现象是摩擦琥珀后使它可以吸引纸屑等微小物体。中国汉代的王充（27 ~ 107 年）在其著作《论衡》中写道：“夫雷，火也。……阴阳分事则相校，校则激射，激射为毒，中人则死，中木木折，中屋屋毁。”文中的意思是说当两种因素分离的时候，有相互的作用力。这种作用是很激烈的，产生的火焰能使人死、树折、屋毁。

战国时期吕不韦（？ ~ 公元前 225 年）所著《吕氏春秋》卷九中记载：“慈石召铁，或引之也。”按学者高诱的注释，作者认为磁石和铁是母子关系，因为铁是从磁铁矿石中提炼出来的，两者的作用如母亲召唤儿子。这种将自然现象拟人化的现象在古代是很常见的。书中磁铁的磁直接运用了慈爱的慈，还特意在注释中说明不慈的铁矿石就不能吸铁。

天上的雷电和琥珀摩擦似乎是毫不相干的事情，就力量的大小而言，一个惊天动地，

一个微不足道，从现象上人们很难认为这是同一属性的东西。直到 18 世纪富兰克林 (Benjamin. Franklin 1706 ~ 1790) 成功进行了著名的风筝试验，而另外一位科学家里希曼 (G. W. Richmann 1711 ~ 1753) 则在相似的雷电试验中牺牲。

科学家们所探索的电给我们今天的生活带来了巨大的实惠，也给我们建筑电气设计提供了最初的基石。

1.1.2 电力照明的发展

1802 年，俄国学者彼德罗夫 (1761 ~ 1834) 用伏打电堆研究放电现象。为了提高电压不断增加伏达电堆单元，最后做成了 2100 个单元的伏打电堆。电压达到 1700V，能提供的电流约 0.2A，电堆联结起来的总长度达 13m！彼德罗夫用这个装置成功地实现了放电，同时看到放电的火花不是转瞬即逝，而是成为持续的电弧，产生耀眼的白光并产生可使导线熔化的高温。若改用两个炭棒为电极，并保持一定的电压，电流就可以形成稳定的电弧。他预感到发现电弧的重大意义：“电弧的光将使黑暗变成一片光明”，他还指出电弧可以使各种金属很快熔化，将在冶金中得到应用。

1840 年，英国科学家格罗夫 (William Robert Grove 1811 ~ 1896) 进行了一个实验。对玻璃罩内的白金丝通以电流，当电流足够大时，铂丝达到炽热而发光。但是只能维持几个小时铂丝就烧毁了。虽然还不切实用，最早的白炽灯就这样出现了。

1844 年，法国物理学家佛库特 (Jean Bernard Leon Foucault 1819 ~ 1868) 制成以木炭为电极的弧光灯，用于显微镜的照明。但因炭电极消耗很快，仅能维持短时间使用。1854 年，在美国的德国人戈培尔 (Heinrich Gobel 1818 ~ 1893) 用炭化竹丝密封在玻璃泡内制成的电灯泡，成本比较低，不过使用时间仍然不长。

1876 年，俄国出现了街道及家庭的电力照明，雅布罗奇可夫 (1847 ~ 1894) 采用高岭土调以镁粉的涂片代替灯丝。这种涂片在常温下并不导电，开始时玻璃管中先产生了气体放电，放电产生的热量对涂片加热使之导电并发光。

美国的发明家托马斯·爱迪生研究灯泡的故事几乎是家喻户晓，他努力收集前人研究资料，并纪录了 4 万页的笔记。他认为白炽灯构造简单易于使用，比电弧灯更有前途，关键在于用什么材料才能延长灯丝的寿命。在两年的时间内，他试验了 1600 多种材料，包括各种金属、木材、石墨、稻草、亚麻、马鬃，甚至连他朋友的胡须也用来进行了试验，都遭到了失败。在许多人对他讥笑的时候，爱迪生仍然坚韧不拔地探索，终于在 1879 年 10 月 21 日用棉纱为原料，经过炭化处理作为灯丝，并将玻璃泡抽真空再行密封。他终于成功了，灯泡连续点燃达 45 小时。他并没有就此停步，又试验了各地所产的 6000 多种植物纤维，后来选中了日本产的竹丝为原料，电灯泡的寿命可达数百或上千小时，1879 年取得美国专利。1882 年投入成批生产耐用的炭丝灯泡。与此同时，英国的 J.W. 斯旺也成功地制出耐用的炭丝灯泡，因此产生了发明权的争执。后来斯旺也与爱迪生组成联合公司解决了争端。炭丝白炽灯逐渐被人们普遍采用。1905 年以后，由于冶金技术的进步，才发展钨丝灯泡。

白炽灯泡构造看起来简单，原理也并不复杂，但是从开始研制到实用经过了几十年的时间与许多人的努力。白炽灯一直沿用至今，看起来短时间也不会被淘汰。但是，最新的理论认为：白炽灯的效率太低（电能 3% 转换为光能，其余 97% 转换为热能），不符合“绿色照明”的要求。无论怎样说，以白炽灯为标志的电力照明的出现，其社会影响十分

巨大，为纪念这个伟大的发明，美国的某个大城市曾经在用电高峰的夜晚停电几分钟进行悼念爱迪生诞辰 100 周年。

1.1.3 电路理论的建立

电力装置的设计或运行都要进行计算，以了解设备上所需的电压、电流、线路上各处信号的衰减、延迟、失真等现象。这些问题有一个共同的特点，就是需要采用简捷的方法，获得所需要的定量结果。允许有一些近似，而且也不必重新研究发生的物理过程和细节。

1826 年，G.S. 欧姆提出的欧姆定律就是一个典型的理论，其定律形式： $e = IR$ 或 $u = IR$ 形式十分简单，所讨论的问题限于电流 I 及电动势 e 或电压 u ，导体的作用只用一个参量 R 代表，就可以求出电流 I ，而不去讨论电池或导体中发生的详细物理过程。1832 年，J. 亨利提出的电感系数 L ，也具有这样的特点。他把线圈中发生的电磁感应的复杂过程，用一个参数 L 表示，即磁通量 $\Phi = Li$ ，所以感应电动势为：

$$e = -d\Phi/dt = -Ldi/dt$$

在 1778 年，A. 伏打就提出电容 C 的概念，导体上储存电荷 $Q = CU$ ，而不必从整个静电场去计算，即使在充放电过程中，也可以由 $i = dq/dt = Cdu/dt$ 去分析电流与电压的关系。当然，RLC 所代表的元件是理想的，各自反映了一种物理过程。但实际电气元件的物理情况不难由 RLC 的适当组合去近似地表示出来，这种组合人们称之为“电路”。

电路是实际电气器件的近似模型，反映了器件的主要性能。选定了等效的电路模型，进一步的问题就是如何才能够计算电路中各处的电压和电流了。这些关系是德国科学家基尔霍夫（Gustav Robert Kirchhoff 1824 ~ 1887）1845 年提出的。他在深入地研究了 G.S. 欧姆等人的工作之后，提出了电路中两条基本定律：

(1) 电流定律—汇集到电路的一个节点上的各电流，其代数和必为零。

(2) 电压定律—沿着电路中的一个闭合回路上，电动势的代数和必须等于电压的代数和。这是根据能量守恒原理得到的推论，因为各种电源的作用已经由电动势代表，线圈上的电磁感应也只由其端上的电压、电流表示为 $u = Ldi/dt$ ，元件外部只剩下电压和电流了。根据这两条定律，可以列出有关电压和电流的方程，联立求解就可以算出回路中的电压和电流。

1847 年，基尔霍夫继续发表了一篇重要的论文，证明在复杂的电路网络中，根据前面两条定律所能列出的独立方程的个数，恰好等于支路的个数。因此如果电路中各电源的电动势及各元件的参数已知，则列出的独立方程能求解各支路电流。

按照实际器件建立电路模型，是重要的创造性的工作。英国 W. 汤姆逊就是这方面杰出的代表。1853 年，他采用 RLC 串联的电路模型，分析了充有电荷的莱顿瓶放电过程，得出了过程中电流有往复振荡和逐渐衰减的性质，并计算出振荡频率与 RLC 参数的关系。他又在 1855 年采用电容与电阻的梯形电路，代表电缆上传送信号的过程，得出了电报信号经过长距离传送所产生的衰减、延迟、失真等现象。1857 年 G.R 基尔霍夫研究了架空线路与电缆的差异，认识到架空线上的自感系数不能忽略，从而得出了完整的传输线的电压及电流方程式，人们称之为基尔霍夫方程。电路理论就这样建立起来了。

电路理论至今仍然是我们进行建筑供电设计的理论依据，没有纯熟的电路计算知识，在供电设计中会遇到相当大的困难。

1.1.4 交流电的采用及理论的进展

19 世纪 80 年代初,电机在结构上已经较为完备,进一步改善的需要促进了理论的研究。因为电源只有电池提供的直流电,当时大多数的电机仍然是直流的,供给电解、电镀等用途的发电机也必须是直流的。根据电磁感应产生的交流电,要由电机上的换向器变为直流才能应用。

最早较大规模使用交流电,是 1876 年在电力照明中的应用。俄国 H. 雅布罗奇可夫为照明建立的发电厂,发送的就是交流电。1883 年英国高拉德 (L. Golard 1850 ~ 1888) 和吉布斯 (I. Dickson Gibbs) 制成具有分接头和几个绕组的变压器,用改变接线的方法变换所需的电压,仍然用的是开放式磁路。这种变压器在英国伦敦博览会上展出,每台容量达到 5kVA。1885 年,匈牙利工程师麦克斯韦 (Maxweu 1851 ~ 1934) 研制出采用闭合式磁路的干式变压器,效率大为提高,并取得德国的专利。

交流电的另一个特点是由静止的线圈可以产生旋转的磁场。对后来的电机发生了重大的影响。意大利科学家费拉伊 (Galileo Ferrais 1847 ~ 1897) 1888 年春在都灵科学院报告,他于 1885 年发现用不同相位的交流电通向几个静止的线圈,可以产生旋转磁场。几乎同时,美籍南斯拉夫裔工程师特斯拉 (Nicola Teslal 1856 ~ 1943) 在美国也报道发现了旋转磁场,并在 1882 年制成了没有滑环的交流电动机。

1888 年秋,俄国年青的工程师多里沃—多布罗夫斯基 (1862 ~ 1919) 注意在电机的动态制动实验中,如果将电动机的电枢线圈短接,会产生很强的制动作用。由此他很快体会到如果减少电枢上线圈的电阻,使感应电流增大,不是用来制动,而是随着旋转磁场旋转,就可以提供一定的力矩。根据这种设想,他在铁柱中穿过铜条,并在端部短接做为转子,放在旋转磁场中制成鼠笼式感应电动机。

这种电动机不需要向转子引入励磁电流,从而免除了滑动触环,构造简单坚固,成本低廉,运行平稳,直到现在仍被广泛采用为动力来源。他又将二相改为三相,使电机圆周上的空间可以充分利用。三相的交流电,各自的相位互差 120 电度角,这样的三个正弦波大小相等的电流相加,恰好等于零。换句话说,供给三个线圈三相电流,不需要用六根导线,只要将线圈的另一端接到一起成为中点,这样仅需要三根导线就可以了。1889 年他制成了功率为 100W 的电动机,1891 年制成的电动机达 3.7kW。

多里沃—多布罗夫斯基还制成了三相变压器。他提出几种构造都是可行的,包括铁芯为壳式、芯式、或日字形。

人们发现交流电机中能量损失的测量结果与计算结果相差很多。英国爱文 (J.A.Ewing) 指出这可能是由于磁滞损失未考虑在内的原因。德裔美国人司坦麦兹 (Charles Proteus Steinmetz 1865 ~ 1923) 给出了计算磁滞损失的经验公式,即损失正比于磁通密度 B 的 1.6 ~ 2 次方,按材料而采用不同的方式。这个公式很有效,一直应用到现在。

交流电的使用,促进了交流电路理论的发展。交流电路与直流电路有很大差别,不仅电动势及电流是随时间有正负交互的变化,而且电路中不仅有电阻的作用,还必须考虑电感和电容的影响。早在 1847 年, Y.X 楞次就发现了线圈中通过交变电流时,它与电动势的变化相位上不一致。1877 年, П.Н. 雅布罗奇可夫观察到电容上交流电压也与电流的相位不同。19 世纪 80 年代, J.C. 麦克斯韦曾提出过电路中交流的全阻抗表示。卡普

(Kingsburg Kapp 1852 ~ 1922) 在 1887 年推出了计算变压器产生的感应电动势 E 平均值的公式:

$$E = 4.44 wf\Phi 10^{-8}$$

式中 f 为频率, w 为匝数, Φ 为磁通量。根据这个式子可确定变压器中磁通与磁化电流的关系。M.O. 多里沃—多布罗夫斯基发展了卡普的理论。1891 年, 他在法兰克福电工学术会议上提出了关于交流电理论的报告: “磁通是决定于所加电压的大小, 而不是决定于磁阻。而磁阻的变化只影响磁化电流的大小。如果磁通的变化是正弦式的, 则电动势或电压也是正弦式的, 但二者相位差 90 度。” 他又将磁化电流分成两个分量, 即 “有功分量” 与 “磁化分量”。他提出交流电的基本波形为正弦式, 将线圈中电流分为两个分量等都为后来所沿用。

交流电路计算方法中一个重要进展, 是 C.P. 司坦麦兹的复数符号法。他利用数学中的第莫威定理, 用复数代表正弦量的大小和相位。在给定的频率下, 三角函数的运算就简化为复数的代数运算了。他又根据瑞士数学家阿根德 (Jean Robert Argand 1768 ~ 1813) 在 1806 年所提出的用矢量表示复数, 则又可以用平面上的矢量代表交流电的大小和相位, 所以可称之为 “相量”。相量概念因其直观性易懂, 成为分析交流电的有力工具。

1.1.5 发电厂和电力传输

1. 发展

早期的工业生产, 除人工之外只以畜力、风力或水力为动力。蒸汽机的发明, 解决了动力来源的问题, 最终导致了产业革命, 生产力得到了巨大发展。但每个需要动力的工厂必需安装锅炉、蒸汽机、笨重的皮带轮轴传动装置, 还需要自己解决燃料来源及运输等问题, 仍然很不方便。

电机的进步和交流电的应用, 改变了这种状况。只要有人集中建造发电厂, 或者利用水力, 或者统一解决燃料问题, 再用导线就可以将电能送到各个工厂或千家万户。对每个用户来说, 只要具有电动机, 就成为动力来源了。这就为工业的高速发展创造了良好的条件。电气化的时代到来了。

1879 年, 美国在旧金山建成实验电厂向用户出售电能。我国也在这一年于上海建成了一台 7.5kW 电机的发电厂, 主要是供照明用户之用。英国霍尔本电厂、俄国彼德堡电厂也先后建成。

从发电厂向用户输送电能的问题, 早在 1873 年法国佛泰因 (Epolit Fontine) 在维也纳国际博览会上用燃气发动机带动发电机, 输电到 1km 以外处的电动机成功地驱动了一台水泵。1874 年, 俄国的皮罗茨基 (1845 ~ 1898) 进行了直流输电的试验, 并申请了专利。1880 年在俄国《电》杂志的创刊号上发表了 П.А. 拉契诺夫的论文, 文中提出: 当传输的电能增加或距离加长时必须升高电压。1881 年, 这个杂志又发表了 M. 德普列 (Mercele Deprez 1843 ~ 1918) 长距离的电力传输的论文, 也提出了相同的结论。1882 年, 他在法国建造了 57 公里的输电线路, 将密土巴赫水电站的电能输送到巴黎展览会现场。该系统传输功率为 3kW, 始端电压为 1413V, 终端电压为 850V, 所用导线为 4.5mm², 线路损失为总能量的 78%。

电力系统发展过程中出现过使用直流电还是交流电的争论。争论开始于某些著名的人, 包括美国的 T.A. 爱迪生和英国的 W. 汤姆逊都是反对使用交流电的, 理由是交流电

不安全，当然这也是了解不够的缘故。随着电力传输的发展，交流电可以用变压器很方便地提高或降低电压，同时交流电机制造方便成本低廉，不会产生换向器故障等，这些优点终于被多数人承认，争论才逐渐平息了。

1888年，M.O. 多里沃—多布罗夫斯基创立交流电的三相制，在1891年建成由法国劳奋水电站至德国法兰克福的三相交流高电压输电线路。在始端采用了90/15200V的升压变压器，在终端建有两座变电所将电压降低，输电效率已达到80%以上，经济效益比较显著，此后的交流输电就大都采用三相制了。

英国商人于1882年在上海开办了上海电光公司，建发电厂功率为12kW。1888年两广总督张之洞批准华侨黄秉常在总督衙门近旁建成电厂，供给总督衙门及一些居民照明用电。美国在1882年仅有发电厂3座，至1902年电厂已达3621座，发展十分迅速。欧洲各国兴建电厂数目也迅速增加，电力工业已经成为重要的产业部门了。

2. 断路器

随着发电厂的建立，需要有通、断大电流且耐受高压的断路器设备。20年代最简单的断路器是金属棒与盛有水银的容器。接通时就是将金属棒插入水银中，断开时将棒提起。这种开关比较笨重，价钱也很贵，使用时要操动几次才能保证接触良好。这迫使人们寻求更好的办法。

除了在接通后开关触点要接触良好之外，随着功率和电流的增大，断路器断开时产生的火花就成为电弧了。电弧的高温可以使触点烧坏，甚至熔化，造成伤人或火灾。因此必须设法使电弧及早熄灭，使电路的分断成功。

1893年，在美国芝加哥的世界博览会上，M.O. 多里沃—多布罗夫斯基展出了他设计的断路器，这个断路器还有过载时自动切断保护发电机的作用。可动的触头为厚的刀形铜片，片上有一根弹簧拉伸，同时有一个横担将铜刀锁住。这一过程由一个电磁铁控制，运行电流通过电磁铁的线圈，当电流超过了预先调定的限度时，电磁铁吸动将锁释放，铜刀就被弹簧的力量拉出，使电路断开，对发电机起保护作用。电弧在空气中运动而自然熄灭。自然熄弧的空气断路器，当时能承受的电压约为15kV，电流不超过300A。1897年，英国工程师布朗（Charles Eugene Lancelot Brown 1863~1924）取得羊角形触头的断路器专利。羊角形放电间隙原来是用作架空线防雷之用，电弧产生后沿角形导体向上运动，使距离逐渐拉长而熄灭。

1895年，英国费朗梯（Shebas-tian Ziani de Ferranti 1864~1930年）取得油断路器专利，安装于迪波福特电站。油断路器是当触头分开的，使一个触头迅速浸入充满油的筒体内，以油隔断电弧通路使之熄灭。初想起来，油是易燃物，电弧又有高温，用油灭弧似乎是异想天开。但实际上只要触头动作足够快，不等热量聚累，筒内缺少助燃的空气，油又是绝缘物，所以反而起了灭弧作用。

3. 电力传输

电力传输的技术发展，表现在电压等级的不断提高。1906年发明了悬垂式绝缘子，它比针式绝缘子耐受的电压可以提高很多倍，而且机械强度也大为增加，可以承担更粗重的导线。分裂导线的发明使高压导线上的电晕损失减少。高压断路器亦出现多种类型，特别是灭弧技术不断改进。由自然熄弧发展为磁吹、油吹、高压空气吹弧等方法增强了断路器的分断能力。人们又研制了六氟化硫气体密封式高压电器及输电管道。这些技术使高电

压及超高电压的大功率远程输电线路成为可能。

我国在 70 年代建成了西北的 330kV 线路，80 年代又建成了东北、华中、华北的 500kV 输电线，并且还在迅猛发展之中。1908 年美国开始出现 110kV 输电线路，到 1922 年又建成 150kV 线路。1923 年再将输电电压提高到 220kV。这以后欧洲许多国家也都建成 220kV 线路。20 世纪 30 年代之后，输电电压再次提高。1936 年美国建成 287kV 输电线。1959 年苏联建成 500kV 输电线。

4. 电力系统

随着电能的应用日益广泛，电力的需求不断增长形成了电力系统。因为电能供应有一个特点：发电机发出的电能必须与消耗的电能相等。人们目前还不能在工业规模上对大量电能进行储存。然而用户的用电却随着季节、日月、昼夜而不同。高峰时的负荷与平均数相差很大。因此，早期的那种单台发电机的供电方式就无法适应了，大发电机成本太高，轻载运行时效率又太低，供电的安全也差，因雷电、设备故障、开关操作所引起的过电压是不可能完全避免的。为此，通常采用多台机组，多个发电站，包括水力及火力电厂，用输电线联结成网，负荷上能互相支援，故障中有多路供电，形成了由众多发电站、输电线、变电所、配电网及广大用户组成的电力系统，使电能的供应上更为经济高效，安全可靠。

电力系统中为了减小事故造成的损失，保护人身及设备的安全，必须有保护的设施。最早的保护设备只是简单的熔断器、避雷器、断路器等。随着机组的加大和电压等级的提高，陆续研制出各种断电器及测量设备组成保护电路，“断电保护”已经发展成为电厂中的一种专门技术了。除了事故处理之外，系统的正常运行中，仍然需要进行一些调度工作，使系统的总体效率提高。这些方面已经进行了很多研究：例如电能的潮流分布、短路电流的计算、静态及动态稳定性判定、过电压分析等，又如励磁调节技术、无功功率的补偿、水电火电的配合、抽水蓄能方法、调峰技术等等，积累了很多经验。但是，因为电力系统中牵涉的环节太多，出现的情况千变万化，直到现在人们的技术水平还不能完全适应需要，包括欧美工业很先进的国家，也一再出现电力系统失控，造成大面积停电。每次故障的损失常以多少亿元计算。对电力系统稳定性的研究正在进一步发展中。

1.2 建筑用电的发展

1.2.1 建筑工程技术的发展

1. 建筑的概念

建筑不完全等于房屋，建筑是指供人们进行生产、生活或其它活动的房屋或场所。建筑一般可分为工业建筑和民用建筑，本书中的建筑主要指的民用建筑。一切生产、生活和其它活动不可能仅仅局限在一个封闭的房屋内部。1977 年 12 月国际建筑师协会利马会议文件《城市规划设计原理总结》（又称马丘比丘宪章）中指出：近代建筑的主要问题不再是纯体积的视觉表演，而是创造人们能生活的空间。要强调的不是外壳而是内容，不再是孤独美丽的建筑，而是城市空间组织结构的连续性。

空间是由物体所形成的，地面、墙壁、天花板是限定建筑空间的三要素。但建筑空间中除了地面是必须的外，墙壁和天花板要视具体情况而定。从建筑空间上看，有主从空

间、重复空间、序列空间和多组空间的区分。从建筑功能上看，有服务于生产和生活的区分。从美学角度上看，不同的建筑物体现了不同的美学追求。

总之，建筑是围合空间的一种手段，它使用物理材料营造生产、生活的空间环境，并体现某一特定文化氛围和时代精神。

2. 建筑师的出现

建筑技术在美国被称为建筑工程，在英国称为建筑科学。中国的长城、故宫，埃及的金字塔都堪称世界建筑史的经典。建筑技术的历史充满了工程师们进行大胆革新的例子。中国的赵州桥，长安故宫的修建都留下了图纸。当 20 世纪的建筑师正在争论现代主义和后现代主义的区别时，一个园艺师建造了水晶宫，这到底是怎么回事？

建筑设计者和建筑施工者的分离是逐步的。Architect 一词在英语中首先出现在 1563 年 J. 舒特的著作《The First and Chief Groundes of Architect》中。中世纪英国的 mason 一词包括了建筑设计者和施工的工匠。舒特笔下的建筑师是有学识的文人，精通文学、历史和天文，并擅长绘图、测量和几何。古往今来，贵族和政客为了显示财富和身份，往往不遗余力地建造建筑。建筑师作为有技能工匠的代表，逐步开始独立出现。1615 年，英国皇家工程局有了自己的工程测量师 J.J. 早期建筑师作为了解工程、控制设计和施工进度的人员，他们使用的工具如图板和丁字尺至今仍然有用。

3. 建筑的分工

分工是社会进步的要求。随着建筑技术的日益复杂，作为个体的建筑师越来越难以精通甚至是了解哪怕是单体建筑物所涉及方方面面的知识，更不用说是完成所有工作了。即使作为建筑设计本身而言，也很难说仅仅是建筑师个人的作品。客观地说，某个建筑物的设计是以建筑功能的实现为核心，多方面、多专业合作的产物，是集体智慧的结晶。

(1) 建筑设计与施工的分离 由于早期工业革命对新技术的需要，许多的新的专业应运而生。建造房屋的人使用钢筋、混凝土，对材料的制造和分配产生了兴趣，对新的工艺方法需要了解。1818 年英国成立了土木工程师协会，将职业类别首次写为工程师，并将工程师的技能定义为具有指导自然界巨大的动力资源为人类使用和提供便利的技术。随着建筑物复杂性的增加，出现了造价计算这一新的行业。总承包人把制图员作为基本的队伍，以绘制出施工图为目的，将图纸再分包给专门的施工队伍去干。这样一来，就切断了建筑师与其指挥下的工匠的联系。

(2) 结构、设备、电气工程师的分离 如果建筑师希望采用某种新的技术和材料，往往要依靠熟悉这些材料的人，于是出现了结构工程师、设备工程师和电气工程师等具有专业技能的配套人员。各个工种的出现预示着建筑物的成熟，建筑越来越呈现出其有机整体的内涵。

我们可以把一个建筑物比喻成为一个人。建筑是肌体，结构是骨架。没有骨头是个站不起来的人，没有肌体仅仅是个空架子。但有骨头有肉还算不上一个完整的人，设备就是人的五脏六腑，就是人的经络血脉。变电所是心脏，电气管线是血管，通讯控制网络就是人的神经；通风是口鼻肺，给排水则是人的消化系统；装修则完全可以比喻为人的服饰；一个建筑物完全可以拟人化。

(3) 专业的细化 各工种也随着建筑有机体的成长而逐步分化。建筑电气的强弱电专业开始分离。最初的电气设计可能仅仅是照明，有的人形容其为几个灯泡两根电线，而现

在建筑电气已经分为了照明、动力、减灾、信息等不同的设计范围，其中照明专业又可以细分为普通照明、应急照明、装饰照明等；信息可细分为电视、电话、布线和楼宇自控等。与建筑电气专业类似，设备专业也逐步细化为暖气、通风、空气调节、燃气、给排水。

最富有活力的当属建筑设备电气，随着数字化生活时代的来临，大量自控要求都成为能够实现梦想。建筑电气设备的不断更新，极大地改善了人类的生存环境与生活空间，优化了工作、生产和生活的环境质量。

(4) 现代建筑行业中新的职业也不断出现，造价工程师、监理工程师、项目经理的参与，使建筑业成为了新的商业。造价工程师是指在建筑工程实际中计算工程的概预算价格。工程监理主要是代表甲方（业主），按设计图纸要求控制造价和进度。项目经理一般指施工单位的代表，全面负责工程的施工进度、质量、预算。

(5) 电脑引入带来了新的变化，由于绘图软件的普遍应用和绘图技能的日趋标准化，绘图员有可能成为新的职业。

4. 电脑技术对建筑的影响

(1) 电脑来了 电脑是闯入建筑业中最富有竞争的技术，建筑技术由于运用了电脑，生产力获得了极大的解放。

成套的工程设计工具一直在研制和使用，尽管电脑不是那种仅仅托付设计构思就万事大吉的好助手，但它毕竟是一种相当不错的覆盖多种学科的应用技术。建筑师也许永远都不可能去潜心研究纯粹建筑艺术而忽略建筑技术。

将建筑学与建筑技术分离一直是某些人试图做到的，然而离开工程实践的图纸只可能是出色的绘画艺术，不是我们讨论的工程图纸。电脑在几乎各个方面对我们的生活进行冲击，对建筑行业的影响也日益明显，也许将潜移默化地对建筑师在设计思维和工作方式产生重要的影响。

(2) CAD 技术 一个 CAD 系统的应用是多方位的，它不仅仅可以应用于建筑方案设计，也可以用来生成环境条件的文档资料、工程进度表和工程概算。电脑的应运为美学、图形学为基础的建筑设计和以性能数字为基础的结构设计重新实现统一带来了希望。

经济学家研究表明，工人的生产率取决于三个重要的因素：即个人的态度、训练程度和健康状况；自然资源的可利用程度；以及能够用于辅助个人完成任务的技术设备。电脑是一种工具，在某些特定情况下能够提高设计效率，能够为工程师及其组织带来明显的经济效益。电脑技术不仅仅可以用来控制制造过程，而且可以用于设计领域。

建筑物的设计，通常要经过许多具体的步骤，其中包括：原始设计；改进设计；模型研究；模型测试；最后设计；生产和建造。

在使用电脑以前，工程师们一直使用传统的手工方式制图，他们要依次画出原始草图、设计图及施工图。图纸完成后，经过论证，有可能还要对图纸进行修改。这样，所有的设计图纸都必须修改，甚至完全重画，这花费了工程师的大量时间，使他们不能在完善设计上多用精力。

如今，电脑技术的发展，工程师能够使用光笔将图纸直接输入电脑，通过执行某些程序来分析设计，并给出有关特性的报告。一旦发现问题，工程师便可以迅速而容易地改变原设计，并重新测试。设计完成后，可向电脑发出指令，让电脑根据设计方案制作施工

图。也可以根据电脑指挥其他机器,根据储存在电脑的程序指挥各种设备在特定情况下完成指定的操作。

1.2.2 建筑供电的概念

随着社会的进步,电力的消耗在不断增加,电气技术上取得了惊人的进步。在公害及其它社会条件的制约下,为了能够在有限的土地资源上满足人们日益增长的物质文化要求,保证资源和能源的合理运用,必须对建筑供电进行多方面的研究。

1. 建筑电气的发展

作为国民经济支柱产业之一的建筑业,我国在九五期间,将更新、建成城市 200 个,现代化集镇 5000 个。仅城市住宅将达到 10 亿平方米。我国目前已经成立的勘察设计单位 3 万多家。有建筑就有建筑装饰,1995 年中国建筑装饰产值 800 多亿元,其中家庭装修占 40%,从业人员 400 多万,企业数量近 7 万家。下个世纪全世界建筑市场主要在中国。

建筑、建筑装饰的蓬勃发展,给建筑电气带来了机会。各类家用电器、装饰电器、照明电器、工业电器、民用电器无论数量还是种类,都有了飞跃地发展。建筑电气的发展带动了电气、电子、机械、仪器仪表、材料、光源等相关行业的发展。建筑电气行业大有可为!

2. 我们学习什么

我们是从事建筑电气工程设计与施工的,掌握本行业的知识是本分。具体的说应该掌握以下知识:

(1) 掌握变配电的基本知识,能够进行建筑工程电力负荷的计算,为能从事工程施工或建筑工程电气设计奠定基础。

(2) 掌握建筑工程配电线路的设计和施工要点,学会必要的计算和校核。

(3) 掌握照明工程中的电光源基本知识和施工技术,为将来能从事建筑工程设计、施工打下基础。

(4) 了解常用的高低压电气设备构造、工作原理和主要特征,学会选型。

(5) 了解常用保护设备的构造、工作原理和选择方法。

(6) 了解建筑防雷的技术。

学习供电设计的方法应该注意理论联系实际。为了适应商品经济的需要,赢得竞争的胜利,不仅建筑供电设计的技术要先进,而且要能廉价、快速建成发挥特定功能的建筑的技术。在内容充分满足需要的前提下,要努力降低成本。

1.2.3 建筑工程供电

1. 高压进线

电源进线是用两路独立的电源供电。进入高压配电所 6~10kV 高压母线,母线接出的是高压电动机。从高压母线上输出给电力变压器,供给居民小区的变电所。由这些变电所再把电压变为 220/380V 低压供给各处用户用电。一般根据进线电压在 10kV 就称为高压用户。

2. 分段隔离开关

在高压配电所内,两路高压线分别把电能送到高压母线上,这两段高压母线之间设有分段隔离开关,为用电调度时用。

3. 单母线分段制

高压母线是单母线分段制，当其中一路电源进线发生事情或故障，可以利用高压隔离开关恢复对整个配电所供电。平常只用一条电源线供电，另一条备用。

4. 小区变电所

小区变电所内可设置 1~2 台电力变压器，低压母线也可以采用单母线分段制，因此对重要的用户或负荷可由两段母线交叉供电，低压侧也设有低压联络线，相互连接，以便提高供电的可靠性和灵活性。

从高压母线上可以直接给高压电动机供电，和直接接高压电容柜以改善供电线路的功率因数。在低压母线上也可以并联电容器用来补偿无功功率。

5. 低压用户

在《全国供电规则》中规定一般用户设备容量在 250kW 或需要变压器容量在 160kVA 以下时，应采用低压方式供电，这样的用户称为低压用户。当用电容量超过前面的标准时，则可以直接供给高压电，这种用户是高压用户。低压电网电压常用 220V/380V，而高压用户电压就是 3kV 以上了。

当今世界电气化、自动化技术发展十分迅速，中国电力事业的发展更是举世瞩目。目前已有核电站两座，1991 年 12 月并网发电，1992 年 7 月进入高功率试运行的秦山 300MW 核电站，1993 年 8 月 31 日 21 点 26 分大亚湾核电站一号机组 450MW 并网发电成功（大亚湾共 900MW）。核能发电是一种新型能源，它不仅能量大，而且资源丰富，根据已经勘探到的铀矿和钍矿资源，按蕴藏量的能量计算，相当于地壳中有机燃料能量的 20 倍。

到 1992 年底，全世界有核电站 424 座，净发电容量 35000MW，占全世界总发电量的 20%。其中美国核发电最多（10000MW）。

1.2.4 现代建筑用电的特点

1. 建筑方面的特点

(1) 建筑物面积大。由单个建筑向配套的建筑群发展，建筑面积由几万到几十万 m^2 。服务设施成龙配套。

(2) 建筑物向高空延伸，地球的面积有限，而人类不断繁衍和活动场所不断扩大，必然要向高空发展。

(3) 建筑标准不断提高。建筑材料花样翻新，造型及色彩日趋美丽。

(4) 建筑照明与动力用电量日趋增大。

2. 高层建筑用电设备的特点

高层建筑家电的功能、品种、规格、数量不断扩大。过去家用电表 2.5A 就够了，而且用了几十年。到 90 年代，每户最少设计 5A，而且是采用 4 倍表 5 (20) A 或更大。

建筑电气的综合性增强，自动化程度日趋提高，应用技术日趋复杂。如消防设备向自动化发展，中间部位设水箱，高位水箱与低位水箱配套联网。CAD 技术的应用更加广泛。

电梯的高度和数量日趋增加，向分区运行和程控发展。

电脑监控、调度、管理将发挥更高的效益，与电话系统联网，信息将成为第四产业。

高楼顶层设有航空障碍灯、停机坪、防雷系统及电视信号接收系统。

对电气系统工作的可靠性要求越来越高，防盗系统日臻完善。电子设备的投资比例逐渐提高，目前已然超过 20%，而且有逐年提高的趋势。

3. 能源标准

现代照明和其它的能源标准都在不断地提高之中，尤其是家用电器耗电量越来越大。根据建筑功能的不同，各个国家都制定了相应的参考标准，见表 1-1。

建筑耗电量 (W/m^2)

表 1-1

	国 内	港、澳	国 外
住 宅	10 ~ 35	10 ~ 60	20 ~ 80
饭 店	60 ~ 120	60 ~ 80	120 ~ 140
办公室	100	100	100

4. 电气设计节能

建筑电气设计不是用电越多越好，而应该有节能的意识。地球的资源是有限的，地下的石油仅能再用几十年了，煤再过几百年就只能去地质博物馆观看了。

电气设计节能的主要措施有：选择节能型电力变压器；选用高光效的电光源；选用高光效的照明灯具和定时开关；充分利用自然光；采用电脑控制各种电器设备运行；采用无功功率补偿；科学地、合理地、精打细算地进行建筑供电设计。

5. 系统设计原则

为了选择合适的系统及其元件，系统设计者应具备或取得建筑物内设备及使用的知识。设计建筑供电系统时，电气工程师宜按照以下程序进行设计。

(1) 负荷调查 先要有一张总平面布置图，以千瓦或千伏安为单位，在图中各个位置标出主要负荷，并确定近似的整个建筑物负荷。一开始不大可能得到准确的负荷数据。有些负荷如照明和空调可参照一般资料进行估算。

大部分建筑物负荷必须从工艺、设备设计者那里取得，由于工艺设计常常与电力设计同时进行，因而最初的资料常有改变。因此，不断地和其他工种配合是很重要的。例如：设备采用方案变动改变了电力需要量，很可能使用电量发生数量级的变化。这就要求对电力系统的负荷估算作不断的修改，直到工作完成为止。

(2) 系统设计 研究各种类型的配电系统，选择最适合建筑需要的一个或多个配电系统。有各种各样适用于建筑配电的基本电路。根据需要，选择最好的一个系统或多个系统的组合。在一般情况下，如果元件的质量相同，则系统投资随着系统可靠性的提高而增加。

发展能源是完成工业化进程的一个十分关键和有用的方面，而工业化能够从根本上改变人们生活的方方面面。为了发现新的能源，获得用之不竭的能源支持未来的工业发展，我们需要在随时随地取得能源，将能源便利地从一种形式转换为另外一种，以没有环境污染及破坏我们大气层结构的方式取得能源。

1.3 电 力 系 统

1.3.1 电力系统的构成

1. 组成

电力系统是由发电厂、电力网和电能用户所组成。它们之间的关系可以用供电系统图来表示。供电系统图是用单线条表示的系统图。从图中可以看出变配电之间的关系，高压进线路数、高压母线分段情况、变电所的容量、低压母线的配电等。

为了提高供电的可靠性和经济性，可以将许多电厂用电网连接起来并联工作。我们将由发电机、配电装置、升压变电所、降压变电所及用户所组成的统一整体称为电力系统。其中配电装置是指用来接受和分配电能的电气装置，包括开关设备、保护电器、测量仪表、连接母线和其它辅助设备。电力系统中由各级电压的输配电线路和变电所组成的部分称为电网。建筑工程供电常用高压是 10kV。

2. 发电厂

发电站在电力系统中占有核心地位。发电厂中除发电机外，还有原动机部分。按照动力来源不同，可以是水力、火力、核力所驱动的原动机。为了充分利用自然资源，近年来还对太阳能、风能、潮汐、地热等多种能源的开发进行了研究。但火力和水力仍是主要的动力来源。

水电站总是位于有水的地方，选择建立使用煤或核能燃料的蒸汽机发电厂具有更多的流动性。使用煤做燃料的蒸汽电厂一般处于冲积形成的平原或巨大的山脉附近。核电厂的潜能是非常巨大的，计划一个核电厂标志着一个庞大容量系统设计的开始。核电厂需要大量的电力长距离输送，一个水电厂可能也需要长距离传输电力，因为它们往往处在发电厂和负荷中心距离较远的地方。使用煤或石油的蒸汽机发电厂通常用于供给较短距离的负荷。

3. 电厂的种类

(1) 水力发电厂：水电站发电的容量和水电站所在地点的上下游水位差和流过水电站水轮机的水量之积成正比。所以具备高水头的地方是建立水电站的好地方。常把水电站设在坝后称为坝后式，也有设在河流末端，是用引水渠把水引来发电，称为引水式水电站。还有兼有两种因素的，称为混合式发电。

三峡水电站机组， $70 \text{ 万 kW} \times 26 \text{ 台} = 1820 \text{ 万 kW}$ 。

(2) 火力发电厂：我国主要是用煤，在锅炉内燃烧煤粉，用高温高压水蒸汽推动汽轮机发电。其能量转换过程是：燃料的化学能—热能—机械能—电能。现代的火电厂充分综合利用三废（即废汽、废水、废渣）除发电之外，附带供热，通常称之为热电站。

(3) 风力发电厂：我国内蒙古等地方常年刮风多，可以风力发电，容量一般较小。

(4) 地热发电厂：地下热能开发受地源所限，应用不多。

(5) 太阳能发电厂：地球的资源早晚要用完，太阳能是人类未来的主要能源。人造卫星发电站已经在研究之中。

(6) 核电站：核电是目前为止人们最有希望取得的永久能源。美国人在 1951 年在爱达荷州阿尔科的一座生产钚的反应堆上第一次发出了核电。1954 年，苏联建立了世界第一座核电站—奥布灵斯克核电站，电功率 5000kW。1975 年法国核电站发电量占国内能源供应的 70%。截止 1994 年，世界上已经有 32 个国家和地区建立了核电站，运行的 432 套机组总发电量达到 21301.3 亿千瓦小时，占世界总发电量的 18%。

特别应该提到，人们向往已久的可控核聚变反应在 1991 年有了新的突破。因为核聚变只有在几千万度或近亿度的高温下发生，过去仅在氢弹爆炸时才出现，因而是不可控的。但是核聚变比裂变不仅给出的能量大，而且核燃料为氘及氚，在海水中含量很丰富。人们采用了多路激光会聚的方法提高温度，已经使可控聚变反应出现了。这是个重大的突破。实现最终的可控核聚变成为能源的目标已经在望，那时地球上的能源将会“取之不

尽”了。

电网常用电压有：10kV、220kV、500kV 电网等。电网按供电的范围可分为区域电网和地方电网。我国大区电网如华北大电网、华东大电网等。

4. 电力系统的优点

(1) 可以高效率地、合理地利用地球的资源，特别是水力资源，电网可以把电能送到几千公里远，对快速发展工农业生产十分有利。

(2) 减少环境污染，发电厂可以设在产煤区，远离城市。原子能发电站自然也设计在安全可靠，不发生大地震的地方。

(3) 降低工程造价，即节约投资、降低成本，用电负荷曲线是很不平滑的，大的电网可以起到较好的调剂作用，比分散发电优越得多。

(4) 提高供电的可靠性，一处出事故，电网能调剂，大大地提高了承受故障的能力。许多高级建筑（一类负荷）都用两路独立电源供电，以确保供电可靠。当某个用电设备短路时，大电网可视为无限大容量。

(5) 提高供电的质量，如降低电压的波动性，降低供电线路的损耗等。输送的电压越高则电流越小，损耗的电能也就越少。

(6) 节约有色金属和各种电气材料。例如使用 120mm^2 截面的导线和标准电杆情况下，10kV 电压，输送距离为 10kM，输送功率为 2000kW。当输 35kV，距离为 35kM，能输送 7000kW。可见电压越高、供电距离越远则输送的电功率越大。当输送的电功率一定时，电压越高则电流越小，导线的截面就越细。

(7) 可以比较容易满足高压用户的需要。如常用的 10kV 电动机，可以采用 110kV 或 220kV 的交流高压直接供电，可以减少电压损失。

(8) 对于建筑物内使用直流电设备，采用交流电网供电后再整流，也比较容易，比用直流发电机合理。

5. 电能特点

电能的生产、传输、变压和电能的消费全过程几乎是在同时进行的。电能的生产全过程各个环节都是紧密相联系的，互相影响。因为电能的传输速度为光速，所以发电的一刻和用电的一刻几乎同时进行，而且发电量是随着用电量的变化而变化的。生产和消费始终保持着平衡。

其二是电力系统中的暂态过程是非常短促的，例如开关切换操作、电网短路过程都很快（零点几秒）内完成，所以应该有一套动作十分迅速而又可靠的保护设备，灵敏的监测仪表，还要有自动联动功能。这些只靠人的力量是不行的。

各发电厂和变电所互相联络，建立统一的电力系统有很多优点：可以大大提高供电的可靠性，在发电厂故障时，其所带的负荷可以分配给其它电厂。可以充分利用动力资源和充分发挥各类电厂的作用，如夏季是丰水期，将水利发电厂作为基本电厂，在冬季将水电厂作为峰值负荷电厂，可以减少备用容量。单独运行的电厂必须有备用机组，电厂联网后，只要系统有一定的备用机组就可以了。

构成电力系统的缺点是短路电流增加，继电保护复杂。

6. 对电力系统的基本要求

保证完成国家计划发电量和热能供应，满足预期的最大负荷；保证供电的可靠性；保