

21世纪 应用型高等学校精品规划教材

电气工程一次部分

主 编 王邦林
副主编 周 雯 全 红
张 洁 李春杰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21世纪应用型高等学校精品规划教材

电气工程一次部分

主 编 王邦林
副主编 周 雯 全 红
张 洁 李春杰



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍电力网、电力系统的基本知识以及发电、输电、配电等主要一次设备。同时对电气工程配电装置及电气设备总布置和电气安全技术知识也作了相应的介绍。内容紧密联系电力工业发展的最新技术以及中国电网的发展动态,结合南方电网云南的发展情况进行编写。主要内容包括电气工程一次部分基础知识,电弧理论及电气工程一次设备,电气工程主接线及厂所用电,电气工程中的短路电流计算及网络变换,电气工程一次设备的选择,电气工程配电装置及电气设备总布置和电气工程电气安全技术。

本书可作为应用型本科院校、高职高专院校、成人高校以及本科院校二级学院大专层次和中等职业教育的电气技术类发电厂及电力系统、水电站动力设备与管理、电气工程及自动化、供用电技术等专业学生作为教材使用,也可作为机电一体化、矿山机电、电气自动化技术等相关专业以及采矿工程类专业矿山供电课程的教学参考书以及社会相关从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程一次部分 / 王邦林主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2010.7
21世纪应用型高等学校精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7770-1

I. ①电… II. ①王… III. ①电力系统—电气接线—一次系统—高等学校—教材 IV. ①TM645.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第159428号

书 名	21 世纪应用型高等学校精品规划教材 电气工程一次部分
作 者	主编 王邦林 副主编 周雯 全红 张洁 李春杰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 19.75 印张 468 千字
版 次	2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	36.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

应用型高等工科教育和高等职业技术教育的办学目的是为国家走新型工业化道路服务,同时缓解国内劳动力市场高技能型人才紧缺现状。2001年10月以来,教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业技术教育产学研经验交流会,明确了高等职业教育要“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”,同时明确了高等职业教育的主要任务是培养应用型、技能型人才。这类人才,既要能动脑,更要能动手,有的专家学者形象地认为他们既不是白领,也不是蓝领,而是应用型白领,是“银领”。国家有关高等职业教育方针、政策的出台,为应用型高等工科教育和高等职业技术教育的进一步发展指明了方向。培养目标的变化直接带来了办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。

《电气工程一次部分》是电力工程电气类和机电类专业的一门主要专业课程,是理论和实践并重的专业课。电能生产、输送和分配的所有环节,都与电气设备及其理论知识息息相关。课程所教授的基本理论、基本知识和基本技能是学生毕业后从事电力行业电气工程一次方面运行、检修、管理、设计等方面工作所必备的主要专业知识。本课程是在学生学习完电路基础、电子技术及电机学等专业基础课后学习的一门专业课,要求学生具有电的产生,电路的组成,电阻、电感、电容的特性,交流电和直流电的区别、发电机、变压器的工作原理、电路的有关计算方法等知识。通过本课程的学习,要求学生掌握发电厂、变电所电气一次部分的基本理论知识,在此基础上继续学习继电保护、电气二次部分、水电站自动化、自动装置、高电压技术等课程。

本书由云南能源职业技术学院机械与电气工程系王邦林担任主编,并负责全书的统稿和审稿;编写过程中,本着在教学环节中工学交替、工学结合的指导思想,理论知识以“够用、管用、实用”为出发点,紧跟电力工业发展的最新技术以及中国电网的发展动态,特别是南方电网云南的发展情况编写。本课程通过课堂讲授、多媒体教学、实验、校内电气设备拆装检修实习、仿真电厂实习、水电站或变电站运行实习及课程设计、毕业设计等教学环节,

使学生深入了解发电厂、变电所电气工程一次部分的基本理论,具备电气运行、安装、检修的能力,具备电气工程一次部分(电气主接线、厂用电接线、配电装置、接地装置、电气总布置)设计的基本能力,具备较强的阅读电气工程常见图纸和绘图的能力,为毕业后从事专业技术工作打下坚实的基础。

全书共分7章,编写分工是:绪论、第一章、第三章、第六章由云南能源职业技术学院王邦林编写;第二章由曲靖应用技术学校(多层次办学)周雯编写;第四章由昆明冶金高等专科学校全红编写;第五章由云南能源职业技术学院张洁编写;第七章由南方电网培训中心李春杰编写;附录由曲靖市技工学校(省部级重点技校,多层次办学)陈玉生编写。在编写过程中,为了更好地结合生产实际的需要,南方电网云南省电机工程学会云南电力技术杂志社执行主编段一雄(动力与电气工程高级工程师),中国水利水电第十四工程局曲靖分局市场开发部黄丽芬(水利水电工程工程师),云南滇能曲靖协联电力有限公司安全生产技术科科长苏玉岷(动力与电气工程师)和南方电网云南楚雄供电局生产副局长周丹(动力与电气工程高级工程师)以及国电云南宣威发电有限公司总工程师(动力与电气工程高级工程师)提供了大量的技术资料,并参与部分章节的编写和审稿。

为了使教材更具有通用性,把《水电站一次部分》和《发电厂及变电站电气设备》统一组合编写为《电气工程一次部分》。教材按讲授70~80学时编写,为了和其他专业课程的衔接,章节中打“*”的内容为选讲内容,打“**”的为根据教学和实验实训条件的选学内容。

教材在编写过程中难免有错误和不妥之处,敬请各位专家、同仁批评指正。

编者

2010年5月

目录

前言

绪论	1
第一章 电气工程一次部分基础知识	9
第一节 电力系统的基本概念	9
第二节 电气设备概述及额定参数	28
第三节 电力系统的中性点运行方式	35
本章小结	41
习题与思考题	42
第二章 电弧理论及电气工程一次设备	43
第一节 电弧的形成和熄灭	43
第二节 直流电弧的特性及熄灭	45
第三节 交流电弧的特性及熄灭	48
第四节 电气触头	52
第五节 断路器和隔离开关	56
第六节 高压熔断器与高压负荷开关	78
第七节 互感器	84
第八节 高压保护装置	89
第九节 绝缘子	93
第十节 母线、电缆及电抗器	99
本章小结	102
习题与思考题	103
第三章 电气工程主接线及厂所用电	104
第一节 电气工程主接线概述	104
第二节 电气工程主接线的基本形式	106
第三节 电气工程主接线方案实例	112
第四节 电气工程发电厂(变电所)用电的特点及组成	124
第五节 电气工程测量监察系统互感器的配置	130
第六节 电气工程电力网的规划设计	133

本章小结·····	150
习题及思考题·····	150
第四章 电气工程中的短路电流计算及网络变换·····	152
第一节 短路的原因、种类及计算目的和方法·····	152
第二节 无限大容量电源系统短路过程分析·····	155
第三节 短路电流的计算方法·····	158
第四节 短路电流计算图和短路电流计算表·····	170
第五节 发电机供电电路内的三相短路电流·····	172
第六节 网络变换和化简·····	178
第七节** 数学软件 MATLAB 在电气工程领域的应用——矩阵的运算与求逆·····	184
本章小结·····	190
习题与思考题·····	190
第五章 电气工程一次设备的选择·····	193
第一节 电气设备短路电流电动力效应与校验·····	193
第二节 电气设备短路电流热效应与校验·····	197
第三节 电气工程设备和载流导体选择的一般条件·····	201
第四节 电气工程支持绝缘子的选择·····	203
第五节 电气工程高压开关设备的选择·····	205
第六节 电气工程互感器的选择·····	208
第七节 电气工程电缆和架空线的选择·····	214
第八节 电气工程电抗器的选择·····	217
本章小结·····	220
习题与思考题·····	220
第六章 电气工程配电装置及电气设备总布置·····	223
第一节 电气工程配电装置概述·····	223
第二节 电气工程成套配电装置·····	223
第三节 电气工程配电装置中主变压器的布置·····	231
第四节 电气工程户内外配电装置的安全净距·····	235
第五节 电气工程户内配电装置·····	238
第六节 电气工程户外配电装置·····	240
第七节 电气工程电气设施总布置·····	245
本章小结·····	250
习题与思考题·····	251
第七章 电气工程电气安全技术·····	252
第一节 人体触电的概念及原因·····	252
第二节 电气工程电气设备接地和接零·····	254
第三节 电气工程中常用电工安全用具·····	263

第四节* 500kV 输电线路带电作业的安全距离	267
第五节 对值班人员的安全要求	269
第六节 保证电气安全的组织措施和技术措施	270
第七节 电气工程二次回路测量及工作的安全措施	274
第八节 电气工程防火及防爆	275
第九节 触电急救	279
本章小结	282
习题与思考题	282
附录 I 电力线路、变压器特性数据表	283
附录 II 常用数据与数据表	293
附录 III 短路电流运算曲线	303
附录 IV 标题栏的基本格式	306
参考文献	307

绪 论

教学要求

了解国际、国内电力工业的发展史及发展现状，特别是南方电网的情况。

一、电力系统发展史

(一) 国外电力系统发展史

电的发明：1831年（英）法拉第电磁感应→右手螺旋定则→电力系统。

1831年，法拉第发现电磁感应定律后，出现了交流直流发电机、直流电动机以及100~400V的低压直流输电系统。

1875年，法国巴黎建成第一座发电厂，标志着世界电力时代的来临。

1882年，德国出现1500~2000V直流输电系统。

1885年，出现单相交流输电。

1891年，世界上第一台三相交流发电机在德国劳芬发电厂投运，并建成了第一条从劳芬到法兰克福的三相交流输电线路。由于三相电路输送电力比单相电路经济，三相交流电机的运行性能和效率也远较单相交流电机为优，因此目前世界上电力系统和动力用电都几乎无一例外地采用三相制。

资料链接：

发达国家年人均用电量大约为5000kW·h。我国大约为2000kW·h。上海大约为3000kW·h，基本上达到了中等发达国家的水平。我国现已建成了500kV超高压交流、直流骨干网架输电系统，并正在向特高压输电方向发展（750kV、800kV、1000kV等）。

(二) 国内电力系统发展史

1. 辛亥革命时期

1882年上海电气公司开业后，随着1900年八国联军入侵，上海、汉口、天津、广州、北京以及东北等地相继开办了一些以解决照明为主的公用电业。同年华裔商人成立广州电灯公司，开始了民族资本创办电力的历史。1904年比利时商人与北洋军阀在天津签约成立天津电车电灯公司，并于1906年开始了中国交流电的历史。到1911年，全国发电装机容量仅2.7万kW，仅在上海、广州、北京、香港等中心城市和租界内有电，中国电力工业处于刚刚起步的幼芽状态。

2. 抗战期间

从1937年抗日战争爆发到1945年日本投降的8年抗战期间，中国电力工业遭受了极

大破坏。8年间,全国电力装机容量仅增加9万kW。这期间,国民政府主要在四川、云南、贵州、陕西、甘肃等后方地区共筹建了27个小电厂,总装机容量只有2.84万kW。日本人基本控制了东北与华北的电力。

3. 解放战争期间

1946~1949年,中国电力工业基本处于停滞状态,仅1947年在杨树浦电厂建成了1台180t/h高温高压锅炉和一台1.765万kW的背式汽轮发电机组,这是中国第一台高参数火电机组。

在新中国成立前夕,全国装机容量只有185万kW、发电量43亿kW·h,人均年用电量只有9kW·h,装机容量和发电量分别居世界第21位和第25位。当时东北仅有一条220kV线路和几条154kV线路,其他地区只有以城市供电区为中心的发电厂及直配线。

4. 解放后快速发展期

1949~1978年,在不到30年的时间里,全国发电装机容量达到5712万kW,发电量达到2566亿kW·h,分别比1949年增长了29.9倍和58.7倍,装机容量和发电量分别跃居世界第8位和第7位。

改革开放后电网初具规模,分别建成330kV和220kV输电线路533km和22672km,变电设备49万kVA和2479万kVA。到1987年,中国发电装机容量实现了历史性的突破,达到了1亿kW。此后,电力工业连续每年新投产发电机组都超过1000万kW,从1987年开始仅用8年时间,全国发电装机容量又翻了一番,跨上2亿kW的台阶。1995年后5年的时间,全国发电装机容量又跨上3亿kW的台阶。

这期间,我国发电装机容量和发电量先后超过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本等发达国家和经济大国,于1996年底跃居世界第2位,仅次于美国。据统计,2001年底全国发电装机容量和发电量达到3.3861亿kW和14839亿kW·h,分别是1949年的183倍和345倍,50多年来年均增速在10%以上。

全国的电网建设也得到了巨大的发展,大区联网和西电东送联网建设不断加强,相应的城乡电网也得到改造和加强,到2001年底,全国220kV及以上线路达到17.66万km,变电容量达到4.73亿kVA。

资料链接:

1882年,第一座小型火力发电厂建于上海,与世界有电的历史几乎同步,1879年,中国上海公共租界点亮了第一盏电灯,随后1882年由英国商人在上海创办了中国第一家公用电业公司——上海电气公司。

1912年,第一座小型水力发电厂建于云南昆明海口石龙坝,其设备由德国西门子公司提供。

2000年,全国总装机容量3亿kW,年发电量13556亿kW·h,并建成500kV交流、直流超高压输电线路,7个跨省电力系统。西南大容量水电的开发,山西、陕西和内蒙古西部大量坑口电厂的建设,使得全国联网的格局逐步形成。

2006年,全国总装机容量近6亿kW。

2007年,全国总装机容量达7亿kW,每年以接近1亿kW的装机容量在发展。自

1882 年以来, 中国电力工业已走过了 128 年的光辉历程。

二、电网建设

1. 电源开发

实施“优先开发水电, 大力发展火电, 适当发展核电, 积极开发新能源发电”的方针。

到 2001 年底, 全国水电装机容量达到 8301 万 kW, 火电达到 25314 万 kW, 核电达到 210 万 kW, 风力和新能源发电达到 37 万 kW。

目前水电开发已占到全国水电可开发资源的 22%, 水电装机容量居世界第 2 位。1994 年 12 月开工建设的长江三峡工程是世界最大的电站, 装机容量为 2250 万 kW。广州抽水蓄能电站是世界最大的抽水蓄能电站, 装机容量为 240 万 kW。西藏的羊卓雍湖水电站是世界海拔最高的水电站。

1972 年, 我国第一条 330kV 超高压输变电工程——刘家峡经天水到陕西关中全长 534km 的线路投产。

1981 年, 建成了从河南平顶山—湖北武汉的我国第一条全长 595km 的 500kV 线路。

1985 年, 全部采用国产设备的辽宁锦州—辽阳的 500kV 输变电工程投产。

此后, 500kV (包括 330kV) 电网工程在我国许多省份和大区内的省际间迅速发展。随着三峡工程正式开工, 与之配套的三峡输变电工程也于 1997 年 1 月正式开工, 其建设将确保三峡的电力输送到华中、华东、广东及重庆等地区, 同时也将促进中国逐步形成以三峡电站为中心的全国联网。2009 年三峡电站全部建成后, 总功率为 2250 万 kW, 通过 15 回 500kV 交流输电线路和 3 回 500kV 直流输电线路向全国输电。

电力系统发展方向: 大容量、超高压、远距离。

资料链接:

1000kV 晋南荆交流输电工程投运

2010 年 1 月 6 日, 由我国自主研发、设计和建设的目前世界上电压等级最高、输送能力最强、代表国际输变电技术最高水平——1000kV 晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程正式投运, 标志着我国在远距离、大容量、低损耗的特高压核心技术和设备国产化上取得重大突破, 在我国乃至世界电力发展史上书写下浓厚的一笔。该工程连接华北、华中电网, 纵贯山西、河南、湖北三省, 北起山西省晋东南变电站, 经河南省南阳开关站, 南至湖北省荆门变电站, 线路全长 640km。

±800kV 向上线直流输电工程线路竣工

2009 年 11 月 13 日, 世界上电压等级最高、输送容量最大、送电距离最远、技术水平最先进的特高压直流输电工程——±800kV 向家坝—上海特高压直流输电示范工程全线竣工。该工程的建成投运, 对保障国家能源安全, 实现更大范围内的资源优化配置, 促进节能减排政策的实施和低碳经济的发展具有重要意义。该线路西起四川省宜宾市复龙换

流站，东止于上海市奉贤换流站，途径多个省（市），四次跨越长江，线路总输送距离达1907km，铁塔共计3939基。

±800kV 云广直流输电工程即将投运

2009年12月8日，云南—广东特高压直流输电工程楚雄换流站带线路成功升至800kV。云广特高压直流是世界上第一个±800kV特高压直流输电工程，此次成功升压额定电压800kV，标志着世界上首次研制的特高压直流输电主设备和直流线路经受了直流领域最高电压的考验，在世界上树起了特高压直流工程建设的一个标志性里程碑，也向2010年年底实现云广直流单极投产迈出了坚实一步。

±660kV 宁山线直流输电工程开工

2009年8月，世界上首个±660kV电压等级的直流输电线路工程——宁东—山东直流输电示范工程开工。目前，该工程换流站已经完成场平，主设备招标采购工作正在进行，关键技术研究已经取得阶段性成果。该直流线路工程，起于宁夏回族自治区银川东换流站，止于山东省青岛换流站，线路全长1335km，途径宁夏、陕西、山西、河北、山东五省（自治区），计划于2010年建成。该线路的投运，将提高西北电网的水电利用率，实现西北电网与华中电网之间的水火互补运行，改善华北电网电源结构，有效缓解山东省电力供应紧张、能源短缺的局面。

2. 管理体制

自新中国成立以来，我国对电力工业发展十分重视，1993年4月，八届全国人大一次会议决定撤销能源部，重新成立电力工业部。

国家电力公司于1997年1月16日成立。1998年3月撤销电力工业部，九届全国人大一次会议决定批准成立国家电力公司。

从1988年到2001年这10多年，是我国电力工业发展最快、规模最大、技术管理水平得到了极大提高的时期。这期间，解决了长期困扰经济发展的缺电问题，调整了电力结构，飞速发展了电网。在我国电力管理体制的历次改革中，成立国家电力公司标志着我国电力工业管理体制由计划经济向社会主义市场经济转变，实现政企分开的历史性转折。电力要发展，必须深化改革。

资料链接：

750kV 兰平乾同塔双回路输电工程投产

2009年5月25日，我国首条同塔双回750kV输变电工程——兰州东—平凉—乾县输变电工程正式竣工投产，标志着西北750kV送端电网已覆盖陕西、甘肃、青海、宁夏四省（自治区）。

该工程是西北750kV电网主网网架的核心工程，是实施“西电东送”战略的主通道，对加强陕甘断面潮流交换、确保陕西省迎峰度夏期间可靠用电、保持西北电网系统稳定起

着重要作用。该工程的投产,将有力促进我国西北地区水、火、风电的打捆外送,带动当地资源优势向经济优势转化。

资料链接:

±500kV 宝德线一次性带点成功

2009年11月22日,四川省内唯一一条超高压直流输电线路——±500kV宝德线一次性带点成功。该工程既是四川省灾后重建的重点工程,又是华中与西北的电力大通道。它的投运,将改善四川电力长期存在的“丰水弃水、枯期缺电”现状,对保障陕川电网“水火互补,丰枯互济”,实现更大范围内的资源配置,具有重要意义,将大大提高四川电网的抗灾能力。该线路起自四川省德阳市万福桥换流站,止于陕西省宝鸡市太白庙换流站,四川省境内线路总长为240.03km,满负荷运行可输送300万kW电力。

3. 在建大工程

三峡工程 32×70 万 kW, 多年平均年发电量可达 1033 亿 kW·h; 溪洛渡水电站 1260 万 kW; 云南小湾水电站 6×70 万 kW; 广西龙滩水电站 7×60 万 kW。

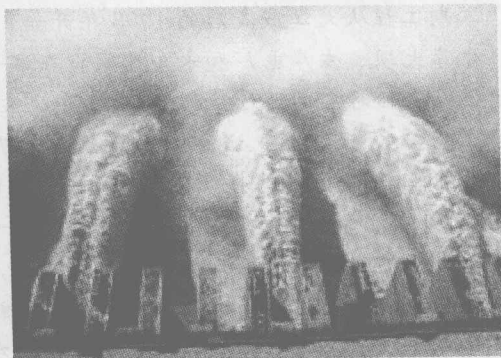
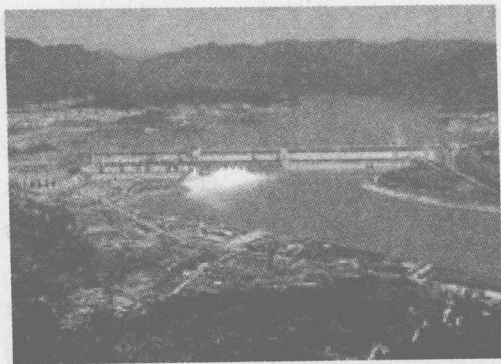
资料链接:

1. 三峡电站简介

三峡水电站,又称三峡工程、三峡大坝。位于重庆市市区到湖北省宜昌市之间的长江干流上。大坝位于宜昌市上游不远处的三斗坪,和下游的葛洲坝水电站构成梯级电站。它是世界上规模最大的水电站,也是中国有史以来建设规模最大的工程项目。而由它所引发的移民搬迁、环境等诸多问题,使它从开始筹建的那一刻起,便始终与巨大的争议相伴。三峡水电站的功能有十多种,航运、发电、种植等。三峡水电站1992年获得全国人民代表大会批准建设,1994年正式动工兴建,2003年开始蓄水发电,于2009年全部完工。

水电站大坝高程185m,蓄水高程175m,水库长600余km,安装32台单机容量为70万kW的水电机组,建成后将成为全世界最大的水力发电站。

它的建成投产,标志着中国人用智慧和力量铸就了又一个奇迹。



三峡水电站泄洪图

2. 工程基本情况

三峡大坝的选址最初有南津关、太平溪、三斗坪等多个候选坝址。最终选定的三斗坪坝址,位于葛洲坝水电站上游 38km 处,地势开阔,地质条件为较坚硬的花岗岩,地震烈度小。江中有一沙洲中堡岛,将长江一分为二,左侧为宽约 900m 的大江和江岸边的小山坛子岭,右侧为宽约 300m 的后河,可为分期施工提供便利。

三峡大坝为混凝土重力坝,坝长 2335m,底部宽 115m,顶部宽 40m,高程 185m,正常蓄水位 175m。大坝坝体可抵御万年一遇的特大洪水,最大下泄流量可达 $10 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ 。整个工程的土石方挖填量约 1.34 亿 m^3 ,混凝土浇筑量约 2800 万 m^3 ,耗用钢材 59.3 万 t。水库全长 600 余 km,水面平均宽度 1.1km,总面积 1084 km^2 ,总库容 393 亿 m^3 ,其中防洪库容 221.5 亿 m^3 ,调节能力为季调节型。

三峡水电站的机组布置在大坝的后侧,共安装 32 台 70 万 kW 水轮发电机组,其中左岸 14 台,右岸 12 台,地下 6 台,另外还有 2 台 5 万 kW 的电源机组,总装机容量 2250 万 kW,远远超过位居世界第二的巴西伊泰普水电站。机组设备主要由德国伏伊特 (VOITH) 公司、美国通用电气 (GE) 公司、德国西门子 (SIEMENS) 公司组成的 VGS 联营体和法国阿尔斯通 (ALSTOM) 公司、瑞士 ABB 公司组成的 ALSTOM 联营体提供。它们在签订供货协议时,都已承诺将相关技术无偿转让给中国国内的电机制造企业。三峡水电站的输变电系统由中国国家电网公司负责建设和管理,预计共安装 15 回 500kV 高压输电线路连接至各区域电网。

三峡工程预测的静态总投资大约为 900 亿元 (1993 年 5 月末价格),其中工程投资 500 亿元,移民安置 400 亿元。预测动态总投资将可能达到 2039 亿元,估计实际总投资约 1800 亿元。建设资金主要来自三峡工程建设基金即电费附加费。国务院 1992 年规定,全国人民每使用 1kW·h 电能便需附加上交 0.003 元以投入三峡工程,此后这一数字又被多次调升,有的省份甚至达到 0.0124 元。1994 年起,葛洲坝水电站的利润也被直接转为三峡建设资金。到 2002 年,以葛洲坝电厂为主体的中国长江电力股份有限公司成立,掌管葛洲坝和三峡的所有发电资产。该公司 2003 年在上海证券交易所公开发行股票上市,其募集的资金和此后获得的发电利润也成为建设资金的重要来源。此外,三峡总公司还发行了数期国内债券募集资金。

二期工程从大江截流后的 1998 年开始,在大江河段浇筑土石围堰,开工建设泄洪坝段、左岸大坝、左岸电厂和永久船闸。在这一阶段,水流通过导流明渠下泄,船舶可从导流明渠或者临时船闸通过。到 2002 年中,左岸大坝上下游的围堰先后被打破,三峡大坝开始正式挡水。2002 年 11 月 6 日实现导流明渠截流,标志着三峡全线截流,江水只能通过泄洪坝段下泄。2003 年 6 月 1 日起,三峡大坝开始下闸蓄水,到 6 月 10 日蓄水至 135m,永久船闸开始通航。7 月 10 日,第一台机组并网发电,到当年 11 月,首批 4 台机组全部并网发电,标志着三峡二期工程结束。

三期工程在二期工程的导流明渠截流后就开始了,首先是抢修加高一期时在右岸修建的土石围堰,并在其保护下修建右岸大坝、右岸电站和地下电站、电源电站,同时继续安装左岸电站,将临时船闸改建为泄沙通道。

资料链接:**小湾水电站两台机组投产发电**

2009年11月15日,在云南省南涧县与凤庆县交界的澜沧江中游河段,“西电东送”标志性工程——小湾水电站2号机组并网发电,提前实现2009年两台机组投产的目标。

小湾水电站建设的300m级混凝土双曲拱坝,是世界上在建的最高双曲拱坝,开挖边坡高度近700m,堪称世界之最。该水电站总装机容量420万kW,总库容149亿m³,工程计划于2010年全部建成投产,将为我国云南省、广西壮族自治区以及沿海地区的经济发展提供强大动力。

4. 发展趋势

2003~2010年我国电力工业新增装机容量约45217万kW,年均5490万kW,年均投资约为6588亿元,总投资46446亿元;2010~2020年计划新增装机容量88775万kW,年均实际新增7546万kW,预估年均投资为9055亿元,总投资90550亿元。

截至2004年8月,我国有运行核电机组9台和在建机组2台,运行机组装机容量达到7010MW,约占全国发电总装机容量的1.63%;核电厂的累计发电量为438亿kW·h,占全国总发电量的2.3%。连云港田湾核电站为4台100万kW级压水堆核电机组,分两期建设,一期建设规模为两台机组,目前一台机组已投入运行。

目前,我国电力工业已开始进入“大机组、大电厂、大电网、超高压、高自动化”的发展新阶段,科技水平不断提高,调度自动化、光纤通信、计算机控制等高新技术,已在电力系统中得到广泛应用。

资料链接:**四川—上海特高压直流输电示范工程开建**

2007年5月21日,四川—上海±800kV特高压直流输电示范工程在上海奉贤换流站开工兴建,这是目前世界上规划建设的电压等级最高、输送距离最远、容量最大的直流输电工程,它的实施标志着我国电网特高压工程建设序幕全面拉开。

该示范工程的起点为四川复龙换流站,途经四川、重庆、湖南、湖北、安徽、浙江、江苏、上海等8省(直辖市),全长约2000km。工程将连接华东、华中两大电网,将西南清洁的水电资源输送到负荷中心,可以替代受电地区燃煤火电机组,减少环境污染和煤炭运输压力。

该工程将建设2座±800kV换流站,新建±800kV直流输电线路一回,额定输送功率为640万kW,最大输送功率700万kW,工程动态投资估算约180亿元,计划于2011年建成投运。工程建成后,可替代600多万kW燃煤火电机组,每年可节约1500万t标准煤,减少20万t二氧化硫和4万t氮氧化物的排放。

资料链接:

海南超高压跨海联网工程投产

2009年6月30日,亚洲第一、世界第二的超高压、长距离较大容量跨海电力联网工程——500kV海南联网工程正式投运,结束了长期以来海南省“电力孤岛”的历史。

该工程的投运,实现了海南电网与南方电网主网的连接,可以有效提高海南电网的供电可靠性和稳定性,提高海南省内水电、火电机组的利用率,将海南省经济社会的快速发展提供可靠的电力保障。该工程敷设的3根海底电缆,是工程的关键所在,每根电缆长32km,中间没有接头,堪称世界之最。

5. 水电资源

经统计,全国单站装机容量500kW及以上的可开发水电站共11000余座,总装机容量可达37853万kW,多年平均年发电量19233亿kW·h。据1993年的初步估算,经济可开发资源为:装机容量29000万kW,多年平均年发电量12600亿kW·h。位于雅鲁藏布江的墨脱水电站,经查勘研究,其装机容量可达4380万kW,多年平均年发电量2630亿kW·h。云南可开发的水电资源位居全国第二,仅次于西藏,装机容量达9000多万kW。现已开发的水电资源还不足20%,云南现装机容量(火电和水电)为2000万kW左右。

资料链接:

国家电网将全力实施“一特四大”能源新战略

国家电网公司负责人2009年4月12日明确表示,将全力推进“一特四大”发展新战略,在全国实施更大范围的能源资源优化配置。这“一特四大”新战略指的是:建设以特高压微骨干网架,各级电网协调发展的坚强国家电网,促进“大煤电、大水电、大核电、大可再生能源基地”集约化开发。根据规划,到2020年,国家电网公司特高压输电网输送容量将超过2.6亿kW,将减少火力发电装机约2500万kW,每年减少东部地区煤炭和铁路运输量超过4.8亿t标准煤,减排二氧化碳约13.7亿t、二氧化硫1075万t、氮氧化物约140万t。

第一章 电气工程一次部分基础知识

教学要求:

掌握电力系统的基本概念及发电厂、变电站的常见类型;了解发电厂、变电站常用电气设备;掌握额定电压的确定方法。了解中性点运行方式的意义及类别;掌握中性点不接地运行方式的特点及应用,了解中性点不接地系统单相接地故障时,各相电流及电压的变化向量图;了解中性点经消弧线圈接地及直接接地系统运行方式的特点及应用。

第一节 电力系统的基本概念

系统是若干个元素为了某一共同的目的而有机结合的整体,有三个基本属性:目的性、关联性和整体性。电力系统是由若干电压等级的发电、输电、配电、用电设备等组成的(可以包括人、财、物)。电力网包含于电力系统,由相对具体的设备、电压等级组成。我国目前的几大电网是:西北、华北、华中、华东、东北、南方。它们的联网装机容量均在 5000 万 kW 以上。

一、电力工业在国民经济中的地位

(1) 电能有如下优点:

- 1) 易于将其他形式的能转化为电能。
- 2) 便于远距离输送(输电线路、电缆)。
- 3) 电能集中,分配自由,能够满足各生产过程的工艺过程。
- 4) 速度快(30 万 km/s),能量大,能做到即时停送电。

(2) 电力工业是社会公共基础事业,是国民经济发展的心脏。

(3) 为社会生产的各个领域提供动力,与社会生活密切相关。

(4) “经济要发展,电力要先行”,从各国经济发展看,国民经济每增长 1%,就要求电力工业增长 1.3%~1.5%。

二、电力系统的形成

最初电厂建在用电区附近,规模很小,孤立运行。随着生产的发展和科学技术的进步,用电量和发电厂容量不断增加,但由于发电所需的一次能源通常离负荷中心较远,因此形成了电力网和电力系统。电力系统的组成如图 1-1 所示。

1. 联合电力系统的特点:

联合电力系统的优点如下:

(1) 系统总装机容量可相对减少。

(2) 提高了发电的经济性(合理利用各种资源)。与火力发电厂相比,水电厂具有单位发电成本低、跟踪负荷快的特点。因此,依照“不弃水”的原则,水电厂丰水季节承担