

中国电网建设

国家电力公司电网建设部 卢元荣 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

中国电网建设

国家电力公司电网建设部 卢元荣 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书分第一篇工程篇和第一篇。工程篇阐述了新中国成立前我国的电网状况和我国建设 110、220、330、500kV 电网和 ± 500 kV 直流输电发展的历程,特别对各大区、各省区 500kV 电网的建设有较详尽的阐述,并介绍了“西电东送”、大区电网互联、促进全国联网的工作成果。技术篇阐述了我国 50 年来电网建设的技术进步、重点和较详尽阐述了系统技术、设计技术、施工技术以及防污闪、同塔双回、紧凑型线路的技术和科研成果。

本书较全面介绍了我国电网建设的全过程,可供从事电网规划、建设的工程技术人员、领导干部及关心电网建设的人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国电网建设/卢元荣编著. —北京:中国电力出版社,2002

ISBN 7-5083-0900-6

I. 中... II. 卢... III. 电力系统-电力工程-研究-中国
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 097496 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 9 月第一版 2002 年 9 月北京第一次印刷

850 毫米 $\times$ 1168 毫米 32 开本 10 印张 261 千字

印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

*

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序

卢元荣同志从事电网建设工作已四十余年，遍及长城内外，江河南北，为我国电网建设付出了辛勤劳动、卓著贡献。两年前，卢元荣同志年届六十，到了退休年龄。他对我说要写一本反映我国电网建设的书，将自己与同事们长期从事电网建设的历程和工作经验作一回顾与总结。我认为这一想法很好。希望他能将自己与同事们为之奋斗一生的电网建设事业如实生动地再现出来，在从一线工作岗位上退下之后仍能为中国的电网建设继续作出贡献；同时我也相信他能写好，这是我与之多年共同工作所坚信的，他的勤奋，严谨，一丝不苟，条理分明，乐于记述，勤于笔耕，善于总结的思想工作作风是我们所熟知的。

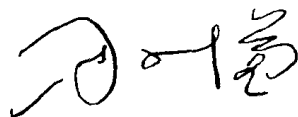
果不然，经过二年左右，卢元荣同志就将厚厚一堆字迹清丽、排列紧齐、逐字手书的书稿摆到了我的面前，并要我提提意见，作些补充。我为之感叹，为之兴奋。这几十万字的资料搜集梳耙整理，归纳分析，加工总结，再一字一字的摘录抄写，要花不少的劳动，其艰辛可想而知，不能不为之赞叹；而这大量的资料，生动的事实，呈现于眼前的中国五十年的电网建设的壮丽场面，当然令人兴奋不已。

我见到书稿之后，先睹为快，通读全稿，使我受益匪浅。不用说，在新中国成立以前及五、六十年代有关的电网建设，我所未能经历的工程和事件，令人兴趣盎然，即使是我所经历过的工程建设也因年代久远而淡忘，今日读来，又有如老友相识，跃然于眼前，倍觉亲切。本书洋洋二十余万字，分工程和技术两大篇，共十五章，内容包括了分类工程项目及设计、建设等具体情况，也包括了三峡输变电工程和西电东送、全国联网的规划设计与建设；以及电网建设所遵循的电力系统技术规则、规定，线路

变电站设计、施工、调试技术要求及管理规定，还有建设中存在的问题及其课题研究和解决意见，直至工程的建设组织和演变，此外还有大量的附表、资料，可以说对我国电网建设有了一个全程检阅。全书内容丰富，资料详实，既是我国电网建设历程与成就的基本反映，也是卢元荣同志及其同事们工作经验的积累，资料的总汇，工作的结晶。于是我建议电网建设分公司予以支持出版，并进一步组织专家对本书进行讨论、订正和补充，使之臻于完善，并希望有更多的同志来从事这方面的工作，写这方面的专题文章。我相信，本书的出版对于广大从事电网建设的工程技术人员和管理人员都将是十分有益的，对于加快我国电网建设，提高电网建设水平也将会发挥重要作用的；对于从一线退下来的电网建设老专家老同志，也将是一个启示，还要继续努力，拿起笔，为中国的电网建设服务，多做贡献。

现在，中国电网建设一书就要出版了，这是值得祝贺的。当前，时值我国电网大发展的关键时期，加强电网建设，加快全国联网是我国电力建设的重要方针，“西电东送，南北互供，全国联网”是当前我国电网建设的基本内容。适逢其时，出版其书，对于我国电力工业加快电网建设方针的实施，对于我国电网建设水平、技术水平和管理水平的提高，以及把我国电网建设成一个“安全稳定，先进高效，灵活开放”的全国统一电网的目标的实现，都将会起到积极的作用，作出特有的贡献。

2002年2月于北京

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '卢元荣' (Lu Yuanrong).

前言

1999 年底, 全国发电装机容量为 29876.79 万 kW, 年发电量 12331.41 亿 kWh, 均居世界第二位。我国已拥有以 500kV 和 330kV (西北地区) 为网架 7 个跨省大区电网和 6 个省级电网。加快电网建设、大区电网互联、西电东送、促进全国联网已经成为我国电力建设的方针。展望未来, 我国电网建设任重而道远。

我国电网建设 50 年来取得了很大的成就, 积累了丰富的经验, 为此, 将我国电网建设的历程、电网的规模、电网建设的科研和技术进步的成就加以整理、阐述、出版、供从事电网建设的同行和关心电网建设的人们参考是很有意义的 (由于资料所限, 本书未纳入我国港、台、澳地区的电网建设内容)。

本书分为工程篇和技术篇两篇。在工程篇中, 介绍了新中国成立之前即 1949 年我国电网的情况, 并与 1999 年底我国已建成的电网规模对比, 同时介绍了我国各级输电电压第一项输变电工程建成的年代以及与世界的对比。工程篇中较详细介绍了我国 500kV 电网的建设历程, 对重点 500kV 输变电工程的工程规模、工程设计、工程施工、开竣工日期、工程投资、工程组织管理等都有较详尽的阐述, 对三峡输变电工程特别是三峡至常州 $\pm 500\text{kV}$ 直流输电工程的功能、技术要求、设备选择、进口设备的招标等进行了较多的介绍。工程篇的第六章对西电东送、大区电网互联、促进全国联网的科研成果和工作都加以介绍, 使读者对这方面有较系统的了解。

第二篇为技术篇。与电网建设相关的技术内容非常丰富, 涉及的领域很广, 取得的成果很多。本书选择了一些电网建设人员

比较关心的问题，如大电网系统技术，因为对系统安全稳定运行的要求是贯彻到电网规划、设计、建设各个方面的。在输变电工程的设计技术方面，本书侧重阐述设计技术的进步，特别近年推行 2000 年设计示范工程的研究成果，其中对提高输电线路的输送容量、提高变电站的自动化水平、压缩占地面积和建筑物面积等有较详尽的阐述。此外，对多年重点研究的如污闪研究及其防治、同塔双回输电线路、紧凑型输电线路，以及我国在输电线路铁塔基础的施工技术、大跨越高塔的吊装技术、张力架线技术和直升飞机在输电线路施工的试用等均有较多的介绍。技术篇最后还介绍了已建成的电力系统仿真试验室、杆塔试验站、导线力学试验室、电磁兼容试验室四大科研基地的内容和能力。

在本书的编写过程中，国家电力公司顾问周小谦同志对书稿提出重要的修改和补充意见，并写了序言，国家电力公司电网建设部组织了审稿并对本书的出版给予极大的支持，苏诗慧、黄志明、李博之同志审阅了书稿，对领导和专家给予的支持和帮助致以衷心的感谢。

虽然编者从事电网建设 40 余年，但因水平所限，书中难免存在错误和不足，请同行和读者给予批评指正。

编著者

2001 年 12 月北京

目 录

序
前言

第一篇 工 程 篇

第一章

概述 3

第一节 新中国成立前我国的电网 3

第二节 1999 年底我国的电网 6

第二章

我国各电压等级第一项输变电

工程的建设 14

第一节 第一项 110kV 输变电工程 14

第二节 第一项 220kV 输变电工程 15

第三节 第一项 330kV 输变电工程 16

第四节 第一项交流 500kV 输变电工程 17

第五节 第一项 ± 500 kV 高压直流输电工程 20

第六节 我国各级输电电压工程的出现年代及与世界的对比 25

第三章

我国 110、220、330 kV 电网的建设 38

第一节 110kV 电网的建设 38

第二节	220kV 电网的建设	43
第三节	西北地区 330kV 电网的建设	49

第四章

我国 500 kV 电网的建设

第一节	东北地区 500kV 电网的建设	56
第二节	华北地区 500kV 电网的建设	61
第三节	华中地区 500kV 电网的建设	66
第四节	华东地区 500kV 电网的建设	71
第五节	南方互联电网和广西、广东、云南、贵州 500kV 电网的建设	79
第六节	川渝 500kV 电网的建设	88
第七节	山东 500kV 电网的建设	93
第八节	福建 500kV 电网的建设	95

第五章

三峡 500 kV 输变电工程的建设

第一节	三峡 500kV 输变电工程的规模	99
第二节	三峡 500kV 输变电工程的组织建设	103
第三节	工程建设的安排	107
第四节	$\pm 500\text{kV}$ 三峡至常州直流输电工程的建设	109

第六章

西电东送、大区电网互联、促进

全国联网

第一节	我国西电东送的现状	123
第二节	西电东送的安排	124
第三节	大区电网互联推进全国联网	125

第二篇 技 术 篇

第七章

电网系统技术..... 135

- 第一节 保证电力系统安全稳定运行的基本要求..... 136
- 第二节 电力系统稳定性要求..... 137
- 第三节 电力系统三级稳定标准的要求..... 138
- 第四节 N-1 原则 139
- 第五节 保持电力系统暂态稳定的主要措施..... 139
- 第六节 保持电力系统动态稳定的主要措施..... 142

第八章

输电线路和变电站的设计技术..... 144

- 第一节 中国电力工程的设计力量..... 144
- 第二节 输电线路设计技术和历次设计技术规程修订
内容..... 145
- 第三节 变电站设计技术和历次设计技术规程修订
的内容..... 148
- 第四节 控制工程造价和采取的措施..... 149
- 第五节 开展设计革命和 2000 年送变电工程
示范设计研究工作..... 150
- 第六节 提高变电站的自动化水平..... 156

第九章

输电线路和变电站污闪的防治..... 162

- 第一节 污闪的情况..... 162
- 第二节 污闪的防治和科研工作..... 164
- 第三节 对绝缘子污移物的研究成果..... 165
- 第四节 绝缘子污闪机理的研究成果..... 167
- 第五节 中国和国际上对外绝缘污秽分级的标准..... 171

第六节	防治污闪的主要措施·····	175
第七节	直流电压下污秽绝缘子的性能和污闪的防治·····	177

第十章

500 kV 同塔双回输电线路技术的研究

和工程建设····· 181

第一节	防雷分析·····	182
第二节	电压的不平衡度问题·····	183
第三节	潜供电流问题·····	184
第四节	停运回路上的耦合电压·····	185
第五节	线路机械性故障的后果·····	185
第六节	同塔双回输电线路的继电保护问题·····	186
第七节	同塔双回输电线路的材料消耗对比·····	187
第八节	工程造价比较分析·····	190

第十一章

紧凑型输电线路技术的研究和实践····· 194

第一节	世界上紧凑型输电线路技术的研究和建设·····	195
第二节	我国紧凑型输电线路的研究与建设历程·····	196
第三节	我国 500kV 紧凑型输电线路关键技术取得的 成果·····	197

第十二章

输电线路铁塔基础施工技术····· 205

第一节	湿陷性黄土地基的钻扩桩基础施工技术·····	205
第二节	旋锚桩基础施工技术·····	207
第三节	岩石锚杆基础施工技术·····	212
第四节	嵌固式岩石锚桩基础施工技术·····	215
第五节	插入式斜柱基础施工技术·····	218

第十三章

输电线路铁塔吊装技术····· 224

第一节	座地式摇臂抱杆吊装技术·····	224
-----	------------------	-----

第二节	内附着塔吊吊装大跨越高塔技术·····	227
第三节	用摇臂抱杆、滑轮组吊装筒型钢筋混凝土跨越塔 的塔头技术·····	232
第四节	用索式液压提升装置倒装大跨越高塔技术·····	236
第五节	悬浮式旋转摇臂抱杆吊装大跨越高塔技术·····	239
第六节	用液压提升装置吊装筒型钢筋混凝土大跨越高塔 的塔头技术·····	241
第七节	直升机吊装输电线路铁塔技术及比较分析·····	244

第十四章

输电线路的架线技术····· 253

第一节	输电线路的张力架线·····	253
第二节	用直升机牵放导引绳技术及比较分析·····	264
第三节	用直升机在大跨越工程中牵放牵引绳技术 及比较分析·····	271

第十五章

电力系统仿真试验中心、杆塔试验站、 导线力学试验室、电磁兼容试验

室4大科研基地····· 279

第一节	电力系统仿真试验中心·····	279
第二节	杆塔试验站·····	281
第三节	导线力学试验室·····	286
第四节	电磁兼容试验室·····	292

附录

表 A	全国 2000 年底输电线路及变电设备情况·····	298
表 B	2000 年底国家电力公司年底输电线路和变电设备 情况·····	302
参考文献	·····	306

A black and white photograph of several high-voltage electrical pylons and power lines. The pylons are tall, lattice-structured towers that recede into the distance. The sky is filled with dramatic, dark clouds, and the overall scene conveys a sense of industrial scale and infrastructure.

第一篇

工程篇

第一章

概述

第一节 新中国成立前我国的电网

新中国成立前,我国电力工业落后,全国发电装机仅 184.86 万 kW,年发电量只有 43.1 亿 kWh,分别居当时世界第 21 位和 25 位。输电电压很低,规模很小,当时输电电压等级繁多,全国没有形成统一的电压等级标准,1949 年底全国 35 (20) kV 及以上的输电线路长度和变电设备容量分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 1949 年底全国输电线路长度

电压等级 (kV)	220	154	110	77	66	44	35 (20)	合计
线路长度 (km)	765	832	340	420	1935	982	1201	6475

表 1-2 1949 年底全国变电设备容量

电压等级 (kV)	220	154	110	77	66	44	35 (20)	合计
变电容量 (万 kVA)	33	55	7	10	61	47	138	346

回顾中国输变电工程建设的历史,万伏级的输电线路始建于云南省昆明石龙坝水电站的电力外送工程。石龙坝水电站装机容量为 $2 \times 240 \text{ kW}$,是中国第一座水电站,1912 年 5 月建成。同

年，由昆明耀龙电灯公司建成电压为 23kV 从石龙坝水电站到昆明的输电线路，线路长 32km，是当时中国最高输电电压的输电线路，也是中国第一条万伏级输电电压的输电线路。直到 1949 年，昆明地区的输电电压最高仍是 23kV，只建成 23kV 输电线路 152.6km，云南的开远、个旧地区为 35kV，线路长 40.2km。

1922 年 2 月，北京石景山电厂建成发电，建成前门 33kV 变电所，架设了石景山至前门 33kV 输电线路两条，这是北京地区有万伏级输电电压之始。在此之前，北京于 1906 年 11 月建成前门发电厂，装机 $2 \times 150\text{kW}$ ，以 5.2kV 向市区重点街道和用户供电。

我国东北三省在日伪满期间，日本帝国主义为疯狂掠夺东北的丰富资源，在东北建设了水丰和丰满水电厂，抚顺、阜新等火电厂，并建设了一定规模的电力系统，共建设了 220kV 输电线路 5 条共 765km，154kV 输电线路 7 条共 832km，110kV 输电线路 4 条共 340km，还有一些 66kV 及以下输电线路。1935 年，首先建成东北地区第一条 154kV 输电线路，该线路从抚顺发电厂至沈阳浑河变电所至鞍山白旗堡变电所，以后陆续建成了丰满水电厂至哈尔滨和丰满水电厂至长春以及阜新发电厂至鞍山、至营口和至锦西的 154kV 输电线路。1941 年，首先建成东北地区第一条 220kV 输电线路，该线路从水丰水电厂至鞍山，以后陆续建成丰满至抚顺李石寨和水丰水电厂至安东（丹东）、水丰至大连的 220kV 输电线路。1942 年首先建成东北地区第一条 110kV 输电线路，该线路从镜泊湖水电厂至牡丹江，并建成镜泊湖水电厂至石砚、至延吉和至珲春的 110kV 输电线路。1949 年东北发电装机容量共 82.39 万 kW，1948 年 11 月东北全境解放，在 1946~1948 年间，由于战争电力设施遭受严重破坏，解放后陆续修复。通过 1945 年伪满时期的中满和南满送电事务所的超高压系统图可以了解解放前东北的电网情况，见图 1-1。

1949 年新中国成立前，华北的平（京）津唐地区发电装机共 14.66 万 kW，1944 年 11 月建成津唐、津平（京）、塘（唐）

77kV 输电线路共 350km，其余地区用 33kV 及以下电压输电和配电。1949 年山西省最高输电电压为 33kV，山西当时全省装机

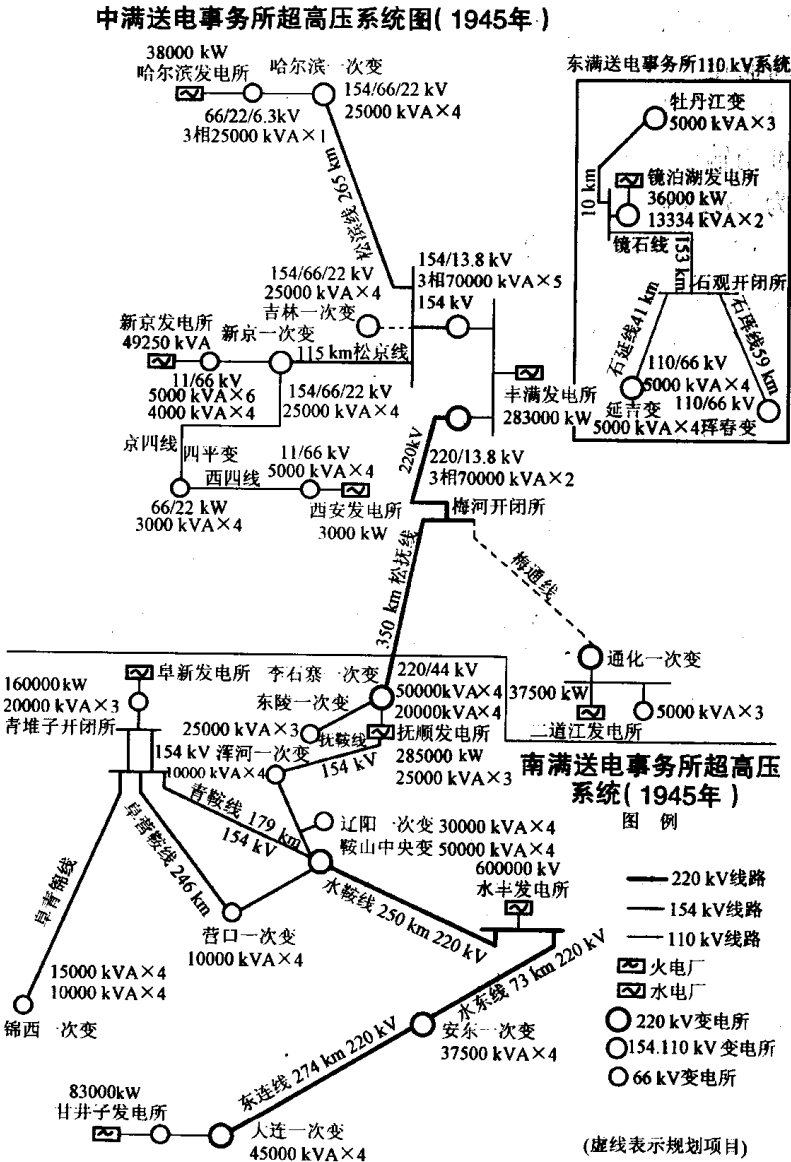


图 1-1 1945 年伪满时期的中满和南满送电事务所超高压系统图