

电气工程装备

创新
与
发展

DIANQI GONGCHENG ZHUANGBEI CHUANGXIN
YU FAZHAN 周鹤良 / 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电气工程装备

创新
与
发展

DIANGI GONGCHENG ZHUANGBEI CHUANGXIN
YU FAZHAN
周鹤良 / 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

周鹤良同志在我国电气行业辛勤耕耘了 60 多个春秋,长期从事电气工程装备技术与组织管理工作,对我国电气工程装备的发展做出过突出贡献。

本书收集了周鹤良同志 2001 年至 2014 年发表的近 60 篇文章,涉及火力发电、水力发电、核能发电、燃气发电、风力发电、太阳能光伏发电以及超高压和特高压输变电、新能源汽车、变频调速技术、智能电网和电力电子技术等领域。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程装备创新与发展/周鹤良著. —北京:中国电力出版社, 2015.2
ISBN 978-7-5123-6487-5

I. ①电… II. ①周… III. ①电气设备—文集 IV. ①TM-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第 216294 号

中国电力出版社出版发行

北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

策划编辑:周 娟

责任编辑:杨淑玲 葛岩明 责任印制:蔺义舟 责任校对:王开云

北京市同江印刷厂印刷·各地新华书店经售

2015 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷

700 mm × 1000 mm 1/16 开本·17.75 印张·274 千字

定价 58.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

写在前面

我出生于 1932 年 10 月，祖籍江苏无锡，按唐代诗人杜甫“人生七十古来稀”的诗句来讲，我早已年逾“古稀”。不过自己还是保持着一颗年轻的心，思维还比较活跃。尽管退出领导岗位 20 余年，但我时刻关心着我国电气行业的发展与进步，思索着我国电气工程装备的创新与发展。

我从基层开始工作，在电气行业里度过了 60 多个春秋，在管理工作、技术工作、企业与行业管理上积累了一些经验，逐渐形成了一些发展思路。

本书主要收集了 2001 年至 2014 年发表的近 60 篇文章，其内容包括：我国电气工业“第十个五年”发展展望；我国电气工程装备发展的机遇与挑战；我国电气工业品牌国际化；清洁高效超临界、超超临界机组发展战略；水电设备发展展望；核电设备发展进程；新能源——风力发展的前景与思考；电网技术概况与发展前景；电力电子产业发展战略；积极推进高效电机的推广应用；智能电网发展战略；特高压输电发展战略以及城镇化助推新能源汽车实现跨越式发展等。

大部分文章已经在国家一级报刊上发表过，有些文章是全国电气行业学术会议、电气工程装备创新论坛的演讲稿，还有数篇是报刊记者采访我的报道。

书中的文章都是我在基层调研收集的第一手资料，结合切身体会，经过分析思考亲自动手完成的。此书可以作为历史借鉴，希望对年轻的电气科技工作者有一定的参考价值。

周鹤良

2014 年 12 月

目 录

写在前面

中国“十五”电气工业发展展望——“十五”重点投资的重大工程及其对电气产品

需求量的预测（一） 1

中国“十五”电气工业发展展望——世界发达国家城市电网和技术装备的发展状况、

差距及方向（二） 5

加快发展风电新能源 10

西电东送——改变能源布局造福千秋万代 16

乐清低压电器出口遭遇退运寒流——中国电气全球化发展瓶颈 18

自主创新再造辉煌 24

中国电力装备工业发展态势（一）——电力工业发展规划与方针 29

中国电力装备工业发展态势（二）——哈尔滨、上海、东方三大发电设备制造商的

生产能力、供货情况 32

中国电力装备工业发展态势（三）——300MW机组出口贸易情况 37

中国电力装备工业发展态势（四）——自主创新、清洁高效超临界、超超临界参数

火电机组 42

我国电力装备工业发展机遇与挑战 46

未必征战才豪杰 指点江山亦英雄 52

宁移白首之心 不坠青云之志	55
关于加快发展我国轻型电动车战略和政策的建议	61
大力发展电动四轮车	66
腾飞的中国电动汽车产业起步于轻型电动车	72
大力发展轻型电动车	78
新能源汽车产业前景十分广阔	80
低速电动汽车需政策规范引导发展	87
我为低速电动车叫个好	91
探索多元之路 助力电动汽车加速“跑”	96
风电产业前景广阔	99
风电产业面临新形势新任务	107
我国风电产业发展若干问题思考	116
理性面对风电发展稳步推进国产化进程	125
平稳有序发展风电健全行业监管体系	133
风电产业面临新形势新挑战	138
风电：消除瓶颈，健康发展	141
提高设备可靠性构建风电产业链	145
启源已经发展成为国际电工装备的供应商	153
高速发展的中国电气工业	156

推进中国电气工业品牌国际化（一）	164
推进中国电气工业品牌国际化（二）	169
推进中国电气工业品牌国际化（三）	173
我国电网技术概况与发展前景	178
电网发展概况与创新	182
开拓电线电缆技术新格局	184
光辉的十年	187
浅谈我国核电发展进程	189
提升电力电子技术及产业规模——扩展电力电子器件应用	196
电力电子技术在风力发电中的应用	199
大力推广应用交流变频调速技术	204
积极推进电力电子技术产业的发展	207
关于轻型电动自行车修订国标的若干建议	211
继续推进社会创新发展 加快推广高效节能电机	213
2014年经济形势重点解读	217
一段惊心动魄的难忘往事——忆葛洲坝水电工程项目	220
中国大容量水电机组领跑世界	224
中国大容量火电机组的高速发展及清洁高效利用	230
倡导城市交通多元化多样化	235

智能电网发展——智能电器设备面临新的挑战	239
特高压推动电力装备制造业实现跨越式发展	244
读《常开记忆四十年》有感	255
三垦力达电气推动中国电气传动领域的转型升级	261
禾望电气自主创新风电变流器市场占有率居国内之首	264
优化能源结构，稳步有序提高燃气发电装机容量比重	269

中国“十五”电气工业发展展望

——“十五”重点投资的重大工程及其对电气产品需求量的预测(一)

“十五”电力装机容量

截至 2000 年中国装机容量为 3.16 亿 kW，发电量达到 13000 亿 kW·h，装机容量构成是：

火电容量 2.36 亿 kW，占 74.7%；

水电容量 7700 万 kW，占 24.4%；

核电容量 210 万 kW，占 0.7%；

风力发电容量 40 万 kW，占 0.2%。

“十五”火电方针：

淘汰小火电（约 2500 万 kW 纯凝机组）；

稳定 30 万 kW 机组；

完善 60 万 kW 机组；

发展超临界机组。

2001~2005 年，新增装机容量约 7400 万 kW，到 2005 年累计装机量将达到 3.9 亿 kW，发电量达到 16500 亿 kW·h，到 2005 年装机容量构成是：

火电容量 2.9 亿 kW，占 74.3%；

水电容量 9000 万 kW，占 23%；

核电容量 810 万 kW，占 23%；

风力、太阳能发电容量 120 万 kW，占 0.5%。

到“十五”末的 2005 年，预测我国发电设备可以形成年产 5000 万 kW 大容量机组生产能力，其中火力发电机组 4000 万 kW，水电机组 1000 万 kW。

以上数据说明，“十五”期间水电会有一个大的发展，新增装机容量约 1300 万 kW，三峡工程 2003 年下半年内实现水库首期蓄水，永久船闸可以通航，左岸首批四

台单机容量 70 万 kW 水轮发电机组可以发电。

三峡到 2009 年全部建成后相当于 6 个葛洲坝电站或相当于 10 个大亚湾核电站，年发电量为 847 亿 kW · h。

中国的水力资源丰富，总蕴藏量为 6.8 亿 kW，可开发 3.8 亿 kW，已开发量占 20%，有了水库就可以发电。

风力发电，截至 2000 年并网容量 37 万 kW，目标到 2005 年达到 100 万 kW。像广东南澳、上海崇明、新疆、内蒙古、福建赤山岛都要建立风力发电场，安装风力发电机组，实现并网发电。

福建赤山岛安装 20 台风力发电机组，单机容量 600kW。利用西班牙政府贷款，上海准备在崇明岛安装 20 台风力发电机组。新疆大坂城风电一期安装 600kW 10 台，国产率 96%，建设规模 2.28 万 kW，总投资 1.8 亿元。

核电：

秦山二期 2 台 /60 万 kW 压水堆机组，计划 2002 年 6 月投入商业运行。

秦山三期 2 台 /60 万 kW 压水堆机组，计划 2002 年内投入商业运行。

广东岭澳 4 台 /100 万 kW 压水堆机组分两期建设，头 2 台机组计划 2002 年、2003 年内先后投入商业运行。

江苏田湾 2 台 /100 万 kW 压水堆机组，计划 2004 年、2005 年内先后投入商业运行。

中压开关柜市场预测，“十五”期间年均需 10~35kV 高压开关柜估测为：10kV 开关柜 9.3 万台，环网柜 2.3 万台，35kV 开关柜 0.8 万台。

中压设备生产厂家：

10~35kV 产品的生产厂家曾有过 4000 多家，经高压柜生产秩序整顿后，取得高压柜生产许可证的近 1000 家；整顿工作终止后，用便函形式同意生产的有 300~400 家，故目前有生产许可文件的企业在 1400 家左右，实际生产厂家要大于此数。因有的借证生产，有的系统允许内部安装使用等。

产量较集中的 10kV 开关柜生产厂家有镇江电器设备厂、天水长城开关厂、上海天灵、北京开关厂、厦门 ABB、江苏通华集团、福州一开、沈阳华利、四川高压开关、成都通力、上海华通、宁波耐吉、温州华仪、浙开、天安及重庆博森等。

环网柜生产量较集中的有宁波天安、华通集团、苏州阿尔斯通、顺德开关、广州白云及上海天灵等。

中压变压器“十五”需求量预测如下：

35kV 变压器：

1000 万 kVA / 年（2001~2003）

825 万 kVA / 年（2004~2005）

10kV 及以下变压器：

6000 万 kVA / 年（2001~2003）

5000 万 kVA / 年（2004~2005）

干式变压器（浇注）：

1400 万 kVA / 年（2001~2003）

1200 万 kVA / 年（2004~2005）

2000 年中压真空开关全国总量约 12 万台，国内提供约 8 万台，外商提供约 4 万台，中压真空开关 40.5kV/32 家，2000 年全国产量约 4500 台，12kV / 112 家，2000 年全国产量约 85000 台，进口量约占 1/3。北京开关厂年产 4000 台，开断容量不断提高，有 3.15kA，也有 4kA、50kA，也可以用在小发电机的保护上，用在无功补偿装置上。如炼钢，用在电流大、起动频繁，就需要这样开断容量大的开关。还有铁道的断路器 55kV，安装在线检测，如压力、温度、分合闸数，采用弹簧机构，性能可靠。

按“十五”期间电力工业发展需求，500kV、220kV、110kV 的 GIS 会发展快一些，需求量比“九五”还会大些，北京开关厂每年生产 110kV 的 GIS 将近 100 个间隔，高压电压进城，免维护，这是大势所趋。

加入 WTO 后对电气行业的影响：

配电设备现在进口税为 14.37%，到 2005 年关税可能要降低到 9%。

进口控制取消，进一步扩大对外开放。

质量和价格更趋激烈，特别是国内质量与外国产品差不多的情况下，价格更趋激烈。

国内知名企业、合资企业——产品性能好，价格合理，预测入关后不会受很大影响，

不会受很大冲击，有利于竞争。特别是生产劳动密集型产品，有一定技术含量，价格有明显优势。这些产品将有利于扩大出口。入关后，不会受很大影响，如电动工具、中低压开关柜。

国内有一批企业将会重组、转户、倒闭。

一批民营企业会得到大的发展。温州正泰集团 2000 年销售额 32 亿人民币，折合 4 亿美元。

发展电动车产业工程，发展方向是燃料电池，不远将来会取代铅酸蓄电池用于电动汽车。蓄电池电动汽车，虽然可以摆脱了马达的轰鸣，致命的弱点是一次充电的行程有限；还有一种是混合动力，发动机和电动机同步起动，在城市用电动机驱动车辆，在郊区用发动机驱动车辆。燃料电池的能量转换效率极高，是普通内燃机效率的 2 倍。

内燃机作动力，在加速时由一组蓄电池提供辅助动力，刹车时还可以回收制动力。北京的机动车尾气污染占大气污染的 50%。

2001 年 8 月 21 日

在东南大学电气工程学院讲授提纲

中国“十五”电气工业发展展望

——世界发达国家城市电网和技术装备的发展状况、差距及方向(二)

世界发达国家十分重视城市电网的现代化建设与改造。城网电气技术装备发展是一个不断认识、探索、开拓、创新的历程,通过实践逐步完善并使之规范化。即使已经达到相当高的水平,技术创新至今也未停顿。世界发达城网系统及其技术装备发展的主要特征是:按照城市建设发展的规模,合理选择供配电系统的电压等级层次匹配、优化网络结构。

电压等级层次的选择模式主要趋势是尽可能简化电压等级层次,进入城区中心的进线电压逐步提高,超高压进入城市中心。其规律是在最高一级输电电压与中压分配电压之间只插入一级高压供电电压,国外部分城市电网电压等级情况见表1。

表1 国外部分城市电网电压等级

城市名称	高压 /kV	中压 /kV	低压 /kV
法国巴黎	225	20	0.4
英国伦敦	132	11	0.4
英国利物浦	132	33.11	0.4
意大利米兰等	220	24	0.4
德国	110	20.10	0.4
加拿大魁北克	220	25	0.6, 0.24
日本大阪	154	22	0.2
比利时布鲁塞尔	150	22	0.2
美国芝加哥	138	12	0.45, 0.2
韩国	154	22.9	0.38

产品综合技术水平,技术经济指标及其适用性与国外先进水平比存在差距,中低档产品较多,高质量产品少;一般通用性产品较多,专用产品少;仿造产品多,自主开发创新技术产品少。我国输变电行业技术引进多为20世纪70~80年代,选用的不是当时国外的最新技术,因此存在差距,在国外不断发展情况下,在某些方面差距进一步拉大。

为了减少城区占地面积，与城市建设环境相匹配，城网电气装备在质量可靠的基础上向组合化、小型化及智能化发展。

成套电气装置由开始的单机简单组合向多功能集成、技术结构模块化发展。保护控制、协调功能与现场总线结合起来，形成计算机、微电子控制与通信结合起来，最具特色的产品有以下几种：

一、SF₆ 气体绝缘组合电器

施耐德的中压环网供电设备主体为 SF₆ 开关，常用断路器或负荷开关配合熔断器、内部母线；机械操作，也可安装遥控接口、监控保护等多种选项单元。SF₆ 开关以 SF₆ 气体作为绝缘和灭弧介质，具有安全可靠寿命长，免维护、操作过电压等优点，也可作 6000kVA 以下变压器的保护。

结构形式多种多样，以三相共箱全封闭式（GIS）最具特色、最能体现其先进性和安全性，为现代城网装备优选设备。20 世纪 90 年代以来，GIS 向高参数、大容量、小型化、长寿命、耐用化发展。其可靠性、使用寿命大大提高，有的已达到 20 年不检修。

组合电器的最新技术还有在线检测功能，对提高运行可靠性，排除内部隐患很有用。组合电器的关键是在充有一定内压的密封容器内，SF₆ 体的泄漏及 SF₆ 的含水量，必须要控制在极度微量水平。国外产品有的长期在环境条件恶劣、气候变化异常的状况下运行无泄漏，技术参数无变化。

我国引进日本、法国、瑞典、瑞士等国先进设备制造技术，并已形成一定生产能力。大体相当于国外 20 世纪 80 年代水平，有的达到 20 世纪 90 年代初水平。但某些产品的综合技术经济指标，技术参数和可靠性水平仍有差距，特别是 GIS 的工艺制造技术和工艺装备，检测试验技术和测试设备差距较大。

二、环网供电单元

20 世纪 80 年代以来城市配电系统中环网供电单元设备发展迅速，应用广泛，其特点是无油化，小型化，结构简单，功能可靠，供货方便，建设周期短，维护方便。

国外城网系统采用环网供电装置的覆盖率已达到 80% 以上, 有的已普及, 高压负荷开关的形成主要有真空和 SF₆。

我国推广应用环网单元等新装备起步较晚, 产品水平较低, 适用性也较差, 国产负荷开关的结构形式早期主要是产气式和压气式, 可靠性较差, 性能不好, 目前已逐步采用真空和 SF₆ 负荷开关。

世界发达国家早在 20 世纪 80 年代高压负荷开关应用广泛, 我国则为反比例关系, 大量使用传统的高压断路器。这也说明我国城网电力系统技术装备落后于世界先进水平的一个方面, 近年来有所改观。

三、组合式变压器

20 世纪 70 年代以来发展迅速, 组合式变压器被城网电力系统广泛采用, 以取代传统的占地面积大、造价高、需建造单独房屋的变压器。组合式变压器可置于地上、地下、半地下, 也可置于建筑群附近、花园广场或道路边沿, 并可深入用电负荷中心高层建筑内, 箱体外壳除多数为金属外壳外同时有非金属材料结构, 如加强玻璃纤维, 加强水泥板等, 在户外使用更具有耐腐蚀、抗凝露等特点。国外组合式变压器的技术发展还开发了充 SF₆ 气体型结构等。

用于室外的油浸式变压器, 我国目前的条件还很难一下子过渡到干式变压器, 应提倡推广密封油浸式变压器和难燃油型绝缘介质变压器, 并可用于组合式变压器。

我国研究开发箱变技术起步晚。我国是生产中小型配电变压器的大国, 年产量约 5000 万 kVA, 16 万台以上, 但组合式变压器产量甚小, 近年来才有较大发展。国产箱式变压器水平较低, 因户外用产品对防凝露、耐腐蚀的防护要求很高。此外, 与组合式变压器配套的附件也极为重要, 如电缆接插件, 国外产品技术要求十分严格, 法国、德国等都制定了相应标准。我国对附件、配件重视程度是不够的, 先进国家发展实践证明, 新型成套电器装置的发展要依赖于电工元器件、配件附件以及材料和制造工艺的综合水平的提高。

电动机的保护监控、通信功能——电动机的过载保护、短相保护、空载保护、温升保护、漏电保护、起动限制保护。

监控保护要大力发展远程监视、远程控制、远程数字化,多种测量值的集中记录(包括电动机的起停监控)。

四、自动无功补偿装置

城网无功补偿方式多采用分散就地自动补偿,按运行状况,对所需无功自动投切,以保证电能质量,电压和功率因数维持在最佳工况。

无功补偿成套装置的重要内含是电力电容器,以及大容量集成式电容器组。国外发达国家的技术发展在高压和低压均已是干式、自愈式,具有内保护的结构,采用新型无毒浸渍剂和优良固体介质。研究开发了静止无功补偿装置全数字化控制调节器,顺序控制继电保护装置等。

我国电力电容器行业也引进了不少国外先进技术和工艺设备。自行研究开发了一定水平的集成式电容器。但在单台功率容量和综合技术经济指标(如比特性方面)尚存在差距,在运行可靠性及使用寿命方面差距也较大。

五、多功能智能化低压配电成套设备

低压配电系统是城网电力系统中最为薄弱,但十分重要的一环节,世界发达国家对低压配电设备及其成套电控设备的研究开发十分重视,更新换代速度快,进入我国的技术和独资、合资、合作生产项目也较多。近几年的发展已有智能化产品,并商品化生产。如涉及千家万户的配电箱,已有智能型集成化组合式结构。具有电力分配及用电量显示,多功能保护特性及故障诊断、隔离、自动信息反馈到配电控制中心等,自动化程度高。又如控制与保护自配合集成化电器装置(CPS),将传统的单功能开关电器的特性集成化融为一体,形成多功能特性产品,对低压电器产品技术结构是一重大创新。

发展电压互感器与电流互感器组合成单一的组合式互感器或再组合成互感器隔离开关,电缆头组合电器,发展传感器与断路器组成新型的断路器,电缆头直接与变压器相连,变压器直接与GIS、封闭母线相连。

我国的低压电器产业,无论是元器件,或成套装置水平,都与国外差距较大,其

品种规格不全，档次较低，质量较差，可靠性差。

2001 年 8 月

在东南大学电气工程学院讲授提纲