

面向21世纪电力科普知识读本

本书编写组 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

面向21世纪电力科普知识读本

本书编写组 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《面向 21 世纪电力科普知识读本》一书是以《面向 21 世纪电力科学技术讲座》为蓝本进行编写的,全书汇集了火电、输变电、水电、核电等电力科技新技术、新成果,反映了当代电力科技发展的动态,力求突出科普的特色。另外,在每篇文章之后均附有一定数量的复习思考题,供广大的读者作为自学时的参考。书后还附有此次电力科普知识竞赛的答卷和答题卡,供参赛时使用。

本书是开展面向 21 世纪电力科普竞赛活动的基本教材,也可作为今后一个时期电力系统领导干部、工程技术人员和技术工人知识更新的培训教材。同时该书也是“国电杯”电力知识竞赛的指定用书之一。

图书在版编目(CIP)数据

面向 21 世纪电力科普知识读本/《面向 21 世纪电力科普知识读本》编写组编. -北京:中国电力出版社,2002

ISBN 7-5083-1174-4

I. 面… II. 面… III. 电力工业-普及读物 IV. TM-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 054113 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>)

北京京东印刷厂印刷

各地新华书店经售

★

2002 年 9 月第一版 2004 年 2 月北京第六次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9.75 印张 232 千字

印数:138001—141000 册 定价 16.80 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)

根据江泽民总书记“把提高全民族的科学素质作为重要的基础性社会工程，全面加以推动；宣传科学思想，提倡科学方法，用科学战胜愚昧；科学精神是人们科学文化素质的灵魂。”的重要思想和中国科协有关“充分发挥科普工作主力军作用，组织实施全民科学素质计划”的要求，为大力普及科学知识、科学思想和科学方法，把科普工作深入持久地开展下去，国家电力公司决定与中国电机工程学会一起联合举办面向 21 世纪的“国电杯”电力科普知识竞赛，旨在激励广大电力职工了解、学习电力新技术的有关知识，提高自身素质，更好地适应 21 世纪电力生产与发展的需要。

竞争是自然界发展的规律，是企业发展的动力，是调动员工积极性、奋发向上、不断进取的有效手段。我们正处在这样一个历史发展的关键时刻：科学技术的发展日新月异，许多新技术、新知识和新的管理理念不断地涌现。只有不断学习，努力提高，增长才干，我们才能跻身于社会经济发展的大潮之中。

这次竞赛活动不仅是电机工程界和国家电力公司系统各级领导干部和全体员工以竞赛促学习的好机会，也是利用科普工作促进电机和电力科技与电力发展的良好机遇；既是培养科学文明、与时俱进的时代精神的一次练兵，又是努力打基础、上水平、增强发展后劲的迫切需要。

为组织电力系统广大职工踊跃参赛，根据《中国电机工程学会科学技术普及工作“十五”规划》的有关要求，特指定本次竞赛的主要用书为中国电力出版社出版的《面向 21 世纪电力科学技术讲座》（高严主编）和《面向 21 世纪电力科普知识读本》，主要参考书为《中国电力百科全书》，主要参考资料为《电力工业“十五”规划》。

《面向 21 世纪电力科普知识读本》是以《面向 21 世纪电力科学技术讲座》为蓝本进行编写的，全书汇集了火电、输变电、水电、核电等电力科技新技术、新成果，反映了当代电力科技发展的动态，力求突出科普的特色。这些书也可作为电力系统广大职工拓宽知识范围，了解电力科学新技术发展状况的学习用书。另外，在每篇文章之后均附有一定数量的复习思考题，供广大的读者作为自学时的参考。书后还附有此次电力科普知识竞赛的答卷，供参赛时用。

各单位要通过此次竞赛大力传播科学思想和科学方法，广泛普及科学知识，坚决捍卫科学尊严，积极促进科学精神与人文精神交互融合，使电力科普工作结出丰硕的成果。

前言



电 气 技 术

电力系统高科技的发展方向——数字电力系统	1
21 世纪输配电技术的发展前景	10
全国电网互联及联网关键技术	19
电力市场化和电网互联对稳定技术的挑战	29
电力系统自动化领域具有重要变革性影响的三项新技术	44
面向新世纪高电压技术学科发展的几点思考	55
特高压输电技术	59
电气设备状态监测与故障诊断技术	68
输变电设备在线监测技术	78
新世纪超导技术在电力系统中的应用展望	87
配电技术的新发展	100
把握世界通信发展趋势 确立电力通信发展战略	110
21 世纪的信息高速公路与电力信息化	122



热 机 与 核 电

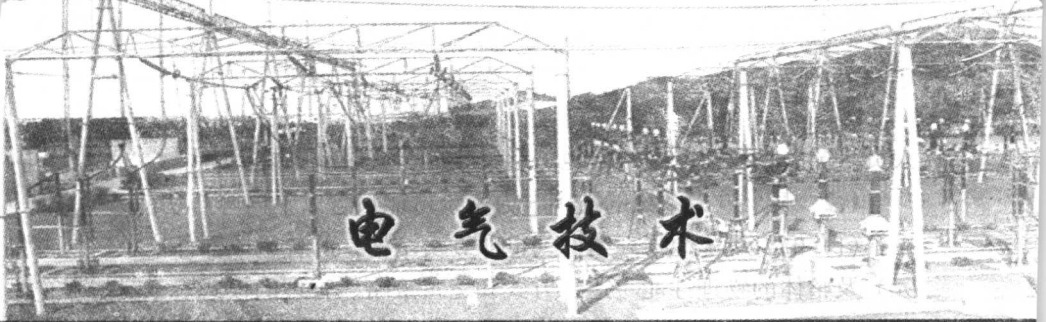
21 世纪发电新技术	133
核电的发展现状和前景	149
洁净煤燃烧发电技术	161
燃煤的燃气—蒸汽联合循环发电技术	169

超临界参数机组的发展和关键技术	178
大容量热电联产机组技术	191
大型火力发电机组自动控制技术	199
火电机组仿真培训系统	207
大机组故障的预诊断技术和寿命预测	216



水力发电

中国水电资源开发的现状与展望	225
大型水轮发电机组的现状与展望	235
抽水蓄能电站	243
水电站筑坝新技术——碾压混凝土坝	250
混凝土面板堆石坝进展综述	259
水利水电建设中的泥沙问题研究	269
水电厂综合自动化及“无人值班”（少人值守）技术	277
“国电杯”电力科普知识竞赛答卷	287



电气技术

面向 21 世纪

电力科普知识读本

电力系统高科技的发展方向

——数字电力系统

1 数字电力系统的定义与内涵

电力系统是由发电、输电、配电、用电和相应的辅助系统，按规定的技术和经济要求组成的，将一次能源转换为电能并输送和分配到用户的一个统一系统。电力系统还包括为保证其安全可靠运行的继电保护和安全自动装置、调度自动化和通信等相应的辅助系统。

电力系统是由原动机、发电机、电力网络、负荷、控制中心等组成的。原来的电力网络是不可控的。近年来，随着电力电子技术的发展，灵活交流输电系统设备引入了电力网，使电力网络也变成可控制的了。在电力系统增加灵活性的同时，也增加了它的复杂性。为了实现电力系统的科学化管理和决策，对系统状态进行实时评估，改善系统安全稳定性，制定和实行经济运行策略，对电力系统实施紧急控制和反事故控制等，提出了以现代高科技发展方向为基础的数字电力系统。

1.1 数字电力系统 (Digital Power System) 的概念

首先让我们给数字电力系统一个定义：它是某一实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、技术性能、经济管理、环保指标、

人员状况、科教活动等数字地、形象化地、实时地描述与再现。

1.2 某个电力系统的数字电力系统可能包含以下内容与功能

(1) 电力系统的物理结构（也即真实结构）的各组成部件（单元）及整体的物理性能、运行方式和运营策略、管理的模式、人员的信息等。

(2) 电力系统的各个元件、各个网络、各节点的实时状态变量（State Variables）。

(3) 各种自动控制装置的动作特性（包括继电保护装置）。

(4) 发电厂、变电所的主要设备的“健康”状态。

(5) 经济结构、市场信息。

(6) 影响电力系统安全的特殊自然环境，如某一条超高压线路正处于落雷区或者台风袭击中，可能造成灾害。数字电力系统应能及时提示运行人员给予特别关注，以免发生重大灾难。

(7) 科技管理阶层、技术人员管理信息。

(8) 环保指标和环保设备投入及运行情况。

(9) 电力系统的各个环节的实时效率，热力系统、汽轮机、发电机系统、网络损耗、用户、电压等环节的效率，数字电力系统应实时显报。

(10) 重要的信息，如人才的信息、科教活动的信息在数字电力系统上应该有所记录和通报。

2 数字电力系统的作用

2.1 管理和决策的科学化

电力系统是分层的，每一层要向上一级管理层通报信息。有了数字电力系统就能很快地把这些信息及时收集起来，加以科学处理，向上一级通报，最终目的是实现全系统的高效管理。这就是DPS所含有的高级MIS（管理信息系统）功能。

2.2 安全稳定实时评估与改善

对于电力系统最重要的是运行的安全性，这个问题在全世界均

未得到很好解决。我国电力系统也出现过稳定破坏的重大事故。20 世纪, 美国发生过六七次大范围灾难性的稳定破坏停电事故, 这告诫我们要更加关注电力系统的安全与稳定问题。

为什么要实时地对系统进行安全评估? 因为在系统正常运行时, 应该给出“忧患预告”, 实时告知系统的薄弱所在, 需给以特别注意。实际上电力系统是有一个稳定域的, 而这个稳定域是随运行情况的变化而改变的, 但因为没有 DPS, 运行人员不能看到它。稳定域的实时变化和状态点在稳定域中的运动轨迹可借助 DPS 图形化地显示。同时, 还可给出改善安全稳定性的建议和策略。有了数字电力系统, 我们可以不断地对电力系统的安全稳定性进行再评估、再调整, 以达到最佳的安全运行状态。

2.3 经济运行策略制定和实行

在日常运行中, DPS 可给出在满足安全稳定约束条件下、在市场化运行规则指导下的全系统的经济运行策略, 在正常运行时, DPS 应该给出使运行状态恶化的因素的提示。例如某一个节点的电压指标在下降, 或者某两个主要节点之间的功率角在不断扩大等等。

2.4 紧急控制的实施

在电力系统遭受故障后, 可通过紧急控制来加以镇定, 以达到保持安全运行的目的。数字电力系统可告知运行人员, 故障发生的地点以及何种故障。故障后, 电力系统要进入暂态过程, 暂态过程中的重要发电机组的摇摆曲线应能借助数字电力系统加以显示, 并给出采取何种紧急控制的建议。在最紧急的情况下, DPS 亦可越过调度人员而直接施行控制, 称为“越权紧急控制”。但数字电力系统的这种越权有严格规定, 只有在最必要情况下才能实行。经过在数字电力系统建议下的调度人员的或数字电力系统的直接紧急控制, 最后使电力系统状态重新回到安全稳定域内。

2.5 最适解列方案实施

对于一个电力系统, 无论采取多么好的控制, 如果干扰超过一

定限度时,电力系统的稳定将会遭到破坏。这时,数字电力系统将给出最佳的解列方案。把一个大系统分解成几个独立的孤岛。解列后的系统,每一个孤岛上的电源和负荷应该是基本平衡的。

2.6 最速恢复策略制定

系统解列以后,DPS将给出最佳的恢复策略的建议,将以流程图的形式给出恢复操作程序。

2.7 科学研究、系统规划设计

数字电力系统在电力系统科学研究和系统规划设计中将起重要作用,譬如对于正在规划设计中的三峡电力系统要做一系列的研究工作。

图1给出了数字电力系统的图像化思考。图的右边是一个运行的电力系统,图的左边是一个数字电力系统。数字电力系统通过实时数据通信和通信,软跟踪这个实时的电力系统。所以,数字电力系统在正常运行时给出建议,通过调度人员进行闭环;在最紧急的情况下,将不通过调度人员进行闭环,然后再“通知”调度人员,刚才进行了什么操作,产生了什么效果等。如果没有数字电力系统(现在的系统就是这样),调度管理人员在运行中是相当盲目的,发生突然故障后他们不知道电力系统中发生了什么问题,产生什么后果,稳定域如何变化,状态点在稳定域的什么位置,甚至可能进行误操作。有了数字电力系统的帮助,电力系统运行的安全性和稳定性会得到极大的提高。

3 基础性研究

为了实现数字电力系统,需要有相当的基础性研究成果作为支撑,需要有新理论和新算法。

3.1 整体模型

动态电力系统是用非线性微分方程来描述的。由于灵活交流输电系统设备的投入,电力网络中的动态设备更多了,整个电力系统微分方程的阶数提高了。此外电力系统网络的潮流方程是大规模非

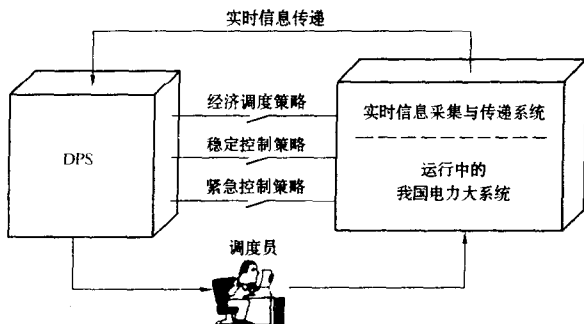


图 1 数字电力系统

线性代数方程组。把这两个方程组联立起来后就组成了大规模奇异非线性动态大系统，这个整体模型在数学上称作 DAE 问题 (Differential and Algebraic Equation Problems)。高维非线性 DAE 问题至今在理论上还是个重要的挑战。

3.2 整体稳定性测度论

要研究电力系统各个层面相互作用的规律和对稳定性的影响，必须研究稳定域的拓扑结构、稳定域边界及其影响因素，所以要对运行中的电力系统的稳定域进行实时测度。

3.3 稳定性在线实时评价方法体系

如上所述电力系统稳定性问题是一个高维的 DAE 问题，这就要求对高维 DAE 模型采取降阶或简约化的方法，可能的方法是发展一套中心流型 (Central Manifold) 方法。

3.4 混杂系统的多目标优化调度理论

混杂系统 (Hybrid System) 是系统科学领域中新提出的概念和理论。电力系统是一个标准的混杂系统，它的上层 (调度中心) 给出的调度决策主要是逻辑性的操作指令，而下层控制 (如发电机的励磁和调速控制) 主要是连续型的。如何将不同性质的上层和下层控制恰当地对合起来，以达到电力系统的多目标优化控制的目的，这是一个重要理论问题和应用问题。

至于电力系统的多目标控制，说到底就是安全稳定性与经济性的双目标控制。进入按电力市场机制运行后，人们主要考虑的是它的经济问题，很少考虑安全和稳定的问题。进入电力市场以后，电力系统的潮流的随机性加大了，将通过数字电力系统绘出相适应的保证系统安全运行的调度策略，这是一个新的问题。

3.5 区域性紧急暂稳控制

电力系统区域性的紧急控制问题在世界上并未解决，目前只能针对某一系统通过大量的仿真计算，得到该系统区域紧急控制的一些规则：譬如说如果在某地发生短路，就相应地在哪些厂切几台机，哪些地方切一些负荷等等。人们只是根据经验和仿真结果得到一些策略，但实际的电力系统状态是千变万化的，单靠仿真得到的几条策略是不够的，所以要研究区域性紧急控制理论。

3.6 巨大的软件工程

以上所讲的是一个巨大的软件工程，对于现有的软件成果，不能废弃，要加以利用，同时还要把新理论的成果软件化，我们要发展高可视化建模的问题。任何一个最优秀的调度人员，每分钟给他2000个新的数据组成的数据表，都不可能进行任何有效的处理，而图像化的处理却可使人“一目了然”。我们要尽量创造性地利用多媒体的技术，还要借用虚拟现实技术的有用的思路来建立数字电力系统。

4 硬件支撑

数字电力系统需要硬件来支持，并需要超大规模的PC机网络。为什么要用超大规模的PC机网络呢？第一，因为PC机价格便宜，比专用芯片便宜很多，便于推广和使用；第二，这样一个超大规模的PC机网络最近已经由清华大学计算机系研制成功。我们现在有了硬件支持，再提出数字电力系统，具有更高的可行性。

5 结束语

数字电力系统与已有的能量管理系统 (EMS)、数据传输系统 (DTS) 是不抵触的, 而且前者包括后者。

数字电力系统是不断地建成不断地被使用的。处于初级阶段的能量管理系统已经在应用。在没有建立能量管理系统以前的监视控制与数据采集 (SCADA) 也在应用中。我们要一步一步地由简到全, 步步可用。阶段成果的可用性与 DPS 推广有重大的意义。

作为数字电力系统的第一步, 要建立实时仿真系统, 这个“实时”包括电磁暂态、机电暂态以及稳态运行。



复习思考题

一、填空题

1. 电力系统是由原动机、____、电力网络、负荷、____等组成的。
2. 近年来, 随着____的发展, ____设备引入了电力网, 使电力网络也变成可控的了。
3. 数字电力系统的定义: 它是某一实际运行的电力系统的物理结构、物理特性、____、____、____、人员状况, 科教活动等数字地、形象地、实时地描述与再现。
4. 对于电力系统最重要的是____, 这个问题在全世界均未得到很好解决。
5. 在电力系统遭受故障后, 可通过____控制来加以镇定, 以达到保持安全运行的目的。
6. 在最紧急的情况下, 数字电力系统可以越过调度人员而直接施行控制, 称为____。但数字电力系统的这种越权要有严格

规定，只有在最必要情况下才能实行。

7. 有了数字电力系统的帮助，电力系统运行的_____性和_____性会得到极大的提高。

8. 动态电力系统是用_____方程来描述的。

9. 混杂系统是系统科学领域中新提出的概念和理论。电力系统是一个标准的混杂系统，它的上层（调度中心）给出的调度决策主要是_____的操作指令，而下层控制（如发电机的励磁和调速控制）主要是_____的。

10. 作为数字电力系统的第一步，是要建立_____系统，其中需要包括电磁暂态、机电暂态以及稳态运行。

二、判断题（对：✓；错：×）

1. 现代电力系统是不可控的。 ()

2. 数字电力系统的最终目的是实现全系统的高效管理。 ()

3. 对于一个电力系统，无论采取多么好的控制，如果干扰超过一定限度时，电力系统的稳定将会遭到破坏。 ()

4. 数字电力系统在正常运行时给出建议，通过调度人员进行闭环；在最紧急的情况下，将不通过调度人员进行闭环。 ()

5. 由于电力系统中灵活交流输电系统设备的投入，电力网络中的动态设备更多了，整个电力系统微分方程的阶数提高了。 ()

6. 电力系统的多目标控制，说到底是对运行和安全的双目标控制。 ()

7. 目前，电力系统区域性的紧急控制问题在世界上已得到解决。 ()

8. 数字电力系统需要硬件支持，并需要超大规模的 PC 机系统。 ()

9. 数字电力系统与已有的能量管理系统、数据传输系统是相抵触的。 ()

10. 电力系统是分层的，每一层要向上一级管理层通报信息。

()

三、简答题

1. 数字电力系统提出的背景和原因？
2. 简述数字电力系统所包含的内容和功能。
3. 简述数字电力系统的作用。
4. 简述一下实现数字电力系统所需要哪些方面的基础性研究？
5. 为什么数字电力系统的硬件支持需要超大规模的 PC 机网络？

21 世纪输配电技术 的发展前景

1 前言

人类已经步入 21 世纪,所面临的重大挑战是实现经济和社会的可持续发展,而保证优质可靠的电力供应是现代社会实现可持续发展的必要条件之一。“电气化是国家现代化的必要条件”,“电力技术是通向可持续发展的桥梁”。为了实现可持续发展,应尽可能把一次能源转换为电能使用,尽可能提高电力在终端能源中的比例。这是因为,在保证相同的能源服务水平前提下,使用电力这种优质能源最清洁、方便、易于控制、效率较高。如果能将大量分散燃用的化石燃料都高效洁净地转换为电力使用,我们赖以生存的环境、产品质量和人们的生活质量就会大大改善。

2 经济和社会的发展对输配电技术的要求

(1) 对输电技术的要求:①经济性。在满足输送大容量电力或电力网互联的技术要求的同时尽可能降低造价。②可靠性。输电系统的设备和线路的可靠性应满足整个电力系统可靠性的要求。③环保性能。输电系统必须满足环境保护的要求,把线路和变电所可能产生的电磁干扰、静电感应、噪声、电磁场生态效应以及对景观的影响降低到标准规定的水平以下。④输电效率。尽可能降低输电的损耗。⑤输电资源。充分利用线路走廊等输电资源。

(2) 对配电技术的要求:①负荷密度日益增加,高压输电线路直接进入市区。②采用紧凑型设备和布置。③可靠性要求越来越高,供电网可用率的先进水平已达到 99.99% 以上。④电压等级简