

PROCEEDING CUS - EPSA



# 迈向新世纪的高校电力科技

——'99 全国高校电力系统及其自动化专业学术论文集

陈允平 丁坚勇 向铁元 张承学 主编

湖北科学技术出版社



196601

TM7-53  
C634

# 迈向新世纪的高校电力科技

——'99 全国高校电力系统及其自动化专业学术论文集

陈允平 丁坚勇 向铁元 张承学 主编



湖北科学技术出版社

## 迈向新世纪的高校电力科技

© 陈允平 丁坚勇 向铁元 张承学 主编

—— 99 全国高校电力系统及其自动化专业学术论文集

---

责任编辑: 熊木忠

封面设计: 秦滋宣

---

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 86782508

地 址: 武汉市武昌黄鹄路 75 号

邮编: 430077

---

印 刷: 武汉市科普教育印刷厂

邮编: 430035

---

787mm × 1092mm 16 开 88.25 印张

5 插页 2243 千字

1999 年 11 月第 1 版

1999 年 11 月第 1 次印刷

---

印数: 0 001—500

定价: 150.00 元

ISBN 7-5352-2050-9/TV·19

---

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

# 前 言

东湖秋波荡漾,珞珈金菊飘香。全国高等学校电力系统及其自动化专业第十五届学术年会于1999年11月13日至15日在武汉水利电力大学举行。本届年会欣逢共和国五十华诞和世纪之交千年之禧,更得到了全国数十所高等院校同行专家、教师、研究生的热情响应和积极支持。会议共收到应征论文325篇,由会议组织委员会组织同行专家对应征论文进行认真的评审筛选,共录取论文260篇,精心编辑成这部颇有份量的文集。内容涉及电力系统规划、设计、运行分析及控制、高压直流输电及FACTS技术、继电保护及自动化、电气设备监测与诊断、理论电工和人工智能、电力市场及管理、教学研究等各方面。

百年风雨,世纪沧桑,中国电力工业从无到有,由弱到强。新中国成立半个世纪以来特别是改革开放二十年来,祖国电力工业飞速发展,取得了举世瞩目的辉煌成就,这其中也凝聚着高校教师的辛勤劳动和创造。中国正豪迈跨入新世纪,我们有理由相信,新的世纪是一个充满机遇和挑战的时代,更是中国电力工业和电力科学技术飞黄腾达的时代。高等学校电力系统及其自动化专业肩负着培养电力事业高级人才和推进电力科学技术进步的双重任务,我们光荣自豪,我们任重道远,我们充满信心……。

愿本届年会和这部文集能够成为迈向新世纪的高校电力科技前进的号角和催征的战鼓!

本届年会得到了我国电力系统、有关高等学校各级领导和专家的热情关怀和指导。并得到南京电力自动化研究院、深圳市能源集团有限公司、湖北鄂电监理公司、湖北省输变电工程公司、湖北宏源电力有限公司、深圳供电局等的大力帮助。湖北科学技术出版社为文集的出版给予了积极支持,武汉水利电力大学为召开好本届年会提供了良好的条件。谨此以会议组委会和全体代表的名义表示衷心的感谢。文集编辑时间仓促,难免存在不足与偏差,恳请读者不吝赐教。对部分作者的原文作了局部修改,还请作者见谅。

全国高等学校电力系统及其自动化专业第十五届学术年会组织委员会  
1999年11月于武汉

# 目 录

## 电力系统规划、设计与可靠性

用优化排序法进行日发电计划的计算 .....	王雁凌	张粒子	鲍海等(2)
等值法在配电网可靠性评估中的应用研究 .....	别朝红	王锡凡(8)	
基于遗传算法的输电网络多目标最优规划 .....	刘 艳	李光熹	熊曼丽(14)
电力系统概率分析中的 K 均值聚类负荷模型 .....	丁 明	李生虎	洪 梅(19)
模拟退火算法进行电力系统并联电容补偿优化研究 .....	武志刚	宋文南	张 尧(25)
原对偶内点法与分枝定界法在无功优化中的综合应用 .....	许 诺	黄民翔(31)	
基于信度的不确定性推理 .....	叶在福	单渊达(37)	
浅析城市配电网规划改造 .....	陈庭记	程浩忠	陈章潮(42)
配电网供电可靠性的递归算法 .....	黎晓刚	张 焰(47)	
中压配电网接线模式研究 .....	陈庭记	程浩忠(52)	
“N-1”安全输电网优化规划 .....	张俊芳	吴军基(57)	
电力网络中前 k 条最短路径的小偏差量法 .....	左郑敏	吴耀武	熊信良等(61)
输电系统运行可靠性评估技术难点解决方法探讨 .....	杨京燕	解 芳	马 昕等(66)
湖北电网短期负荷预测系统 .....	王 晖	韩新阳	葛宜贵等(73)
利用 DSP 实现的发电机系统实时混合仿真 .....	徐兴华	李欣唐	孙勇智等(79)
采用重点抽样方法的电力系统概率仿真 .....	李生虎	丁 明	杜雪樵(84)
配电网网架优化中的免疫算法 .....	王子琦	杨丽徙	娄和恭等(90)
电气主系统可靠性关联矩阵分析 .....	李晓明	张翌晖	郭晓云等(95)
电力网线性规划模型的合理性论证 .....	许跃进(101)		

## 电力系统稳态分析与计算

发电机和并联补偿动态对系统电压小扰动稳定性影响的研究 .....	余贻鑫	贾宏杰(106)	
直角坐标型牛顿潮流在线路 n-1 开断下的补偿算法 .....	袁青山	程浩忠(113)	
基于原——对偶内点算法的最优潮流 .....	候 林	赵晋泉	侯志俭(118)
求取大型电力系统静态电压稳定极限的改进连续法 .....	张 芳	宋文南(124)	
配电网无功优化调度中减少调节次数的处理方法 .....	谢驰坤	陈 陈(129)	
小阻抗支路对牛顿法潮流的影响和计算方法 .....	姚玉斌	鲁宝春	陈学允(133)
带无功补偿配电网线损计算的网路最大流法 .....	周建英	刘宪林	娄和恭(140)
考虑负荷电压静特性的最佳乘子牛顿潮流算法 .....	杜正春	周佃民	董继民(145)
配置 PMU 的电力系统的潮流计算 .....	王克英(150)		
一种新的高斯——塞德尔改进潮流算法 .....	曾伟超	周贵兴(155)	
大区域联网联络线有功潮流变化特点仿真分析 .....	张有兵	左 辰	张文磊(160)
基于潮流分析的有功、无功联合功率贡献因子理论的研究(一) .....	吴政球(166)		
基于潮流分析的有功、无功联合功率贡献因子理论的研究(二) .....	吴政球(173)		

基于潮流分析的有功、无功联合功率贡献因子理论的研究(三) .....	吴政球	姚建刚	(180)
有载调压变压器的参数对其动态特性影响的比较仿真研究 .....			
.....	廖其龙	王官洁	孙洪波(186)
风力发电系统稳定性研究 .....	刘猛觉	陈星莺	(191)
一种实用电力负荷概率分析方法 .....	闫 钊	李尔学	李宝国(197)
一种实用的短期负荷组合预测方法 .....	史 永	王 鹏	张粒子(200)
电力负荷的灰色预测与 $\alpha$ 参数修正 .....	张大海	史开泉	江世芳(205)
电力监控系统的 VB 程序设计 .....	牛兆水	毕研霞	毕研秋(209)
TSC 型无功静止补偿装置非同期投切的不平衡分析 .....	裴志宏	文劲宇	张克元(213)
电压稳定研究中负荷模型应用现状及建模要求 .....	李欣然	陈元新	唐 忠(218)
基于 GPS 的电力系统实时网损计算研究 .....	陈允平	常 青	林 航(226)
不对称线路耦合序网分析与计算 .....	胡志坚	陈允平	张承学(233)
复杂网络中电源对短路点计算电抗的通用算法研究 .....			许跃进(238)
一种新的电力系统多端直流(MTDC)潮流算法 .....	陆进军	黄家裕	(242)
基于面向对象编程的电力系统潮流计算软件 .....	陆进军	黄家裕	(245)
PARALLEL IMPLEMENTATION OF THE NEWTON'S LOAD FLOW METHOD ON A MESSAGE PASSING MULTIPROCESSOR .....	C. Hong	K. W. Chen	C. M. Shen(250)

## 电力系统暂态过程、稳定性、安全性分析及控制

遗传算法用于电力系统频率特性参数辨识 .....	田松礼	陈亚民	(259)
恒功率负荷模型电力系统暂态稳定性分析算法研究 .....	王守东	房大中	张尧等(264)
基于 GPS 应用的电力系统暂态稳定预测方法的研究 .....	苏建设	廖培金	(270)
状态空间中电压稳定域的构成 .....	包黎昕	骆 新	段献忠等(276)
静止无功功率发生器中多重变压器的设计 .....	黄向晖	曾伟超	周贵兴(284)
电力系统暂态稳定紧急控制的研究 .....	吕志来	张保会	哈恒旭(288)
基于 PMU 的电力系统暂态稳定实时快速预测的研究 .....	吕志来	张保会	哈恒旭(293)
对 Normal Form 变换的多值性的分析与研究 .....	李颖晖	张保会	(298)
综合措施提高远距离大容量交流输电系统稳定性水平 .....	周 群	张 益	黄家裕(305)
汽轮发电机组轴系模型降阶研究 .....	周 群	杜莉莉	(309)
重合闸重合时刻对机组轴系扭振影响研究 I. 数学模型 .....	李开文	余颖辉	张保会(313)
高压远距离输电线路短路暂态过程的简化计算方法 .....			郭光荣(317)
电力系统次同步谐振问题的研究现状与发展趋势 .....	江振华	程时杰	(322)
电力系统暂态记录分析仪的研制 .....	曾祥君	尹项根	陈浩等(329)
电力系统暂态稳定计算在数据传输并行计算机上的实现 .....	洪 潮	陈昆薇	庄曰平(333)
用于电压稳定分析的潮流算法研究 .....	朱凌志	周双喜	(339)
基于神经网络的变参数自适应 PID 控制及其在电力系统稳定控制中的应用 .....			
.....	谭振宇	程时杰	魏 璇等(347)
小波理论在电力系统谐波分析和补偿中的应用 .....	马 宁	陈允平	(353)
电力系统稳定控制分层决策新模式的研究 .....	周良松	彭 波	夏成军等(360)



葛洲坝电厂综合稳定控制装置的功能与实施·····	周良松 夏成军 彭 波等(366)
一种电力系统暂态稳定性在线预测方法·····	曹华珍 雷庆生 陈允平(371)
华中电网离线稳定控制系统实时通讯部分的研制·····	刘 蔚 崔悦琳 陈允平(376)
华中电网实用离线稳定控制策略表的确定·····	杨新林 崔悦琳 陈允平(381)
A PARALLEL - IN - TIME ALGORITHM FOR POWER SYSTE TRANSIENT STABILITY ANALYSIS ·····	C. Hong K. W. Chen C. M. Shen(387)

## 高压直流输电及灵活交流输电(FACTS)技术

小波奇异性检测理论在电力系统抗电磁干扰中的应用·····	贺贵明 陈 豫 张玉萍(396)
FACTS 综合补偿控制(装置) ·····	刘学军 钱清泉(400)
GTO 串/并联工作的动态均压/流自适应过程控制系统的模型 ·····	李焕明 崔学深 刘君等(405)
柔性交流输电系统的新型潮流算法·····	董良英 房大中 林旭军(411)
TCSC 神经网络广义逆系统控制方法及其在 NETOMAC 中的实现 ·····	曹 路 李海峰 陈 珩(415)
一种用于不对称配电系统的新型动态电压恢复器·····	丁洪发 段献忠 何仰赞(420)
含 UPFC 电力系统的非线性最优潮流计算 ·····	林声宏 刘明波 王晓村(427)
并联型混合滤波器及其滤波特性分析·····	唐卓尧 任 震(433)
一种新型的直流输电技术——轻型直流输电·····	武 娟 任 震 何畅炜等(439)
考虑 ACTS 器的扩展等面积法(EEAC) ·····	蔡泽祥 申 洪 王 荔(444)
在于 UPFC 的电力系统潮流控制的研究 ·····	李岩松 郭家骥 刘 君(449)
基于空间矢量控制方法的 PWM 逆变器分析·····	赵成勇 李庚银 陈志业等(455)
可控串补非线性 PID 控制器 ·····	张 采 周孝信等(460)
利用谐波潮流计算程序研究变电站的电流放大问题·····	余欣梅 吴耀武 熊信良等(467)
基于 MATLAB 的 FACTS 装置的时域仿真研究 ·····	李必涛 文劲宇 程时杰(471)
一种改进型统一电能质量控制器的研究·····	查晓明 孙建军 陈卫勇(478)
电气化铁道并补可控电抗器的数学模型及铁芯磁场分布·····	陈柏超 邓淑萍(484)

## 能量管理系统(EMS)及配电网自动化

数字技术在电能质量分析中的应用·····	胡 铭 陈 珩(490)
配电网开关备选择定位及效益分析·····	顾秀芳 王仁洲 梁志瑞(495)
配电网重构的算法研究·····	顾 洪 宋文南(500)
一种配网 SCADA 和 GIS 功能集成的新模式·····	黄志龙 邱家驹(504)
从发电厂变电所的接地看接地的重要性·····	向铁元 丁坚勇 应黎明(511)
配电网自动供电恢复决策的快速计算方法·····	杨明皓 黄单舸(517)
基于计算机网络的 SCADA/EMS 决定 ·····	周 明 徐开理 杨明玉等(522)
配电网规划之一:基于支路交换的模拟退火算法在配电网静态规划中的应用·····	倪秋龙 黄民翔(528)

配电网规划之二:用逐步线性化网络流算法进行配电网多阶段规划	倪秋龙 黄民翔	(535)
非线性三相配网状态估计	卫志农 顾 杵 鞠平等	(542)
AM/FM/GIS 在配网管理系统中的应用	张伏生 袁 魏 王海坤	(547)
实时多任务电能质量监测软件的研究与实现	姜 霞 何海波 熊惠等	(553)
新型 10kV 四相配电网的应用探讨	周有庆 邓曙光 罗信芝	(557)
配电线路无功补偿优化方法研究	乐 健 林 海 谈顺涛	(561)
Implementation of Demand Side Management in HKSAR	David T. W. Chan and Brian H. M. O	(567)

## 电力系统继电保护

一种基于双端电气量的高精度测距算法	毛 鹏 孙雅明 张兆宁	(575)
人工神经网络在自适应重合闸中的应用研究	顾福海 张兴华 李永丽	(581)
Morlet 小波在发电机定子匝间保护中的应用	吴国沛 任 震 管 霖等	(586)
微型发电机自适应失磁保护的研究	彭红海 周有庆 胡 德	(591)
基于双正交小波的线路相继速动原理优化	石铁洪 张 昊 刘 沛	(595)
基于虚拟仪器技术的牵引变电所综合状态测试仪的研制	高师湃 涂胜军 李群湛	(602)
基于 LON 网络的微机母线保护系统的开发	程利军	(606)
一种进行幅值和相位校正的微机保护新算法	程 鹏 陆于平	(613)
输电线路微机保护定值自适应整定策略	丁书文 张承学 龚庆武	(618)
基于 GPS 同步采样的几种抗干扰措施	刘美观 龚庆武 左克锋等	(624)
存在互感线路的精确故障定位算法的研究	刘美观 龚庆武 王志梅等	(628)
基于 GPS 同步采样装置的研制及其应用	张承学 龚庆武 胡志坚等	(636)
一种能滤除衰减非周期分量的改进富氏算法	丁书文 龚庆武 涂 宁	(641)
电流互感器的虚拟检测系统	艾 欣 郝玉山 杨以涵等	(646)
基于 LONWORKS 技术的变电站综合自动化系统研究	何正友 钱清泉	(652)
汽轮发电机定子绕组内部故障规律和保护方案的研究	陈松林 王维俭 王祥珩等	(656)
中小型电动机综合保护装置研制	李晓华 尹项根 陈德树	(662)
采样值差动及其应用	胡玉峰 陈德树 尹项根	(667)
基于相关分析的暂态电流差动保护的研究	袁荣湘 陈德树 尹项根等	(673)
三峡大型水轮发电机注入式定子单相接地保护的研讨	邵能灵 尹项根 陈德树	(676)
故障分量定子单相接地保护原理与应用分析	邵能灵 尹项根 陈德树	(681)
基于工控机的神经网络式距离保护的研究	段玉倩 贺家李	(686)
基于直接测量功角的微机发电机失步保护	李 鹏 陆于平 高有权	(692)
新型 110kV 输电线路微机保护装置的研制	张忠 尹项根 陈德树	(698)
平行双回线接地故障几种继电器方案的分析比较	文明浩 陈德树 尹项根等	(702)
一种应用能量平衡关系保护长线的新原理	文明浩 陈德树 尹项根	(708)
PSS/E 电力系统仿真器软件包的实用化开发	李 翔 张沛超 郁惟镛等	(714)
500kV 变电站 $1\frac{1}{2}$ 断路器保护死区及其解决措施	罗松青 方富洪	(720)



配合于距离保护的自适应跳闸方案的研究·····	范春菊	郁惟镛	(724)	
基于图形界面的开放式的 110kV 电网继电保护整定计算程序的研制·····				
·····	李航	房鑫炎	郁惟镛(728)	
基于人工神经网络的自适应电流保护·····	房鑫炎	钟聪	沈芳良(733)	
基于 GIS 信息的 10kV 电网继电保护整定系统·····	王俊	沈海涛	房鑫炎(740)	
基于暂态量超高压输电线路无通讯保护的研究·····	哈恒旭	张保会	吕志来(745)	
小波多尺度边缘检测在继电保护中的应用·····	哈恒旭	张保会	吕志来(750)	
一种新的异地双端继电保护试验系统·····	肖仕武	刘万顺	秦立军等(756)	
傅里叶、卡尔曼和最小二乘算法在保护算法中的分析比较·····				
·····	胡志坚	张承学	丁坚勇	陈允平(761)
继电保护原始数据及定值的数据库管理系统·····	叶萍	向铁元	肖军华(768)	

## 电力系统自动化及远动技术

微机控制的变压器无弧有载调压晶闸管分接开关的研究·····	陈允平	刘会金	彭疆南(773)
利用 GPS 及锁相技术实现相量的同步实时精确测量·····	江道灼	马进	刘蜀江(781)
调度自动化系统中数据图形一体化的若干技术·····	吴轶文	黄益庄	(787)
中压配电网电容器并补大功率晶闸管开关的研究·····	刘会金	彭疆南	陈允平等(793)
IGBT 动态电力电子开关的研制·····	刘福斌	唐勇	陈珩(799)
故障录波数据集中分析与专家系统·····	陈长德	张保会	魏春轩(805)
辐射式地区电网无功运行优化的一种新方法·····	张粒子	汪燕	姚蜀军(810)
新型变电站电压无功综合控制装置的研制·····	赵登福	司喆	张涛(815)
电力系统频率偏移对同步发电机励磁控制系统的影响·····	徐建强	姜惠兰	陈超英(821)
网络化多媒体电力调度系统的设计与实现·····	张勤	钱清泉	(827)
一种适用于中小型发电厂的数据采集系统·····	张国江	张鹏翔	刘炳旭等(833)
无人值班环境的谐波监测及其数据远传·····	赵志敏	殷小贡	(839)
配电网自动化载波通信的通道分析·····	焦邵华	刘万顺	郑卫文(844)
面向对象的知识表示在电力系统专家系统中的应用·····	张沛超	胡炎	郁惟镛(850)

## 电力设备监测与故障诊断

电能自动计量系统的研究·····	刘涤尘	杜江	郭俊华等(857)
实时中断技术在继电保护测试中的应用·····	李长胜	蔡婧	(863)
同步电机参数辨识中的数据处理·····	丁坚勇	陈允平	张承学(867)
电力变压器绕组在轴向短路力下的动态特性研究·····	王洪方	王乃庆	李同生等(871)
PWM 低通滤波特性分析与结构配置·····	赵宏伟	成顺清	荆春江(877)
基于 ISA 总线的智能型通用同步数据采集卡设计·····	张承学	左克锋	胡志坚等(881)
基于 DSP 的智能型电力监测仪的研究·····	李必涛	文劲宇	姜霞等(886)
煤矿井下低压电缆绝缘参数在线检测仪的研究·····	王福忠	付子义	段俊东(891)
总烃安伏法·····	杨民周	杨宏	(896)

连续可调消弧线圈的结构与谐波的关系·····	刘和平 李颖 叶一麟(901)
变电所中镉镍电池的微机监测系统·····	杨伟 吴军基(907)
预测型谐波电流检测方法·····	李广凯 赵成勇 李庚银等(910)
基于 Windows 平台的大型发变组微机故障录波数据综合分析方法与研究·····	····· 陈浩 张哲 陈德树(915)
基于小波神经网络的变压器 PD 故障诊断模型的研究·····	徐勇(921)
神经网络在变电站故障诊断中的应用·····	刘应梅 杨宛辉 章健等(925)
电视监控系统中多控制台控制电路的设计与实现·····	杜恩祥 左宪章 靳英卫等(929)
一种适用于中小型发电厂的数据采集系统·····	刘炳旭 李红 张鹏翔等(932)
HFC-based Online Identify and Control Harmonic in Power Communication Networks·····	····· Qinghui Zeng and Yilin Zeng, Yanpin Leeu(937)

## 人工智能在电力系统中的应用

进化神经网络在同步电机饱和参数辨识中的应用·····	周济 罗应立 崔翔(945)
基于加速进化规划的模糊神经网络汽门控制器研究·····	于浩 杨振强 李生等(949)
一种可视化的电气二次屏图形编辑系统·····	王勇 杨宛辉 谢琦(954)
一种智能化的短期负荷预测系统·····	严华 吴捷 杨萍等(958)
基于神经网络的快速汽门暂态稳定控制的研究(一)——神经网络控制器的结构·····	····· 张粒子 康锦萍 林宪枢等(965)
基于神经网络的快速汽门暂态稳定控制的研究(二)——改进的共轭梯度法·····	····· 林先枢 康锦萍 张粒子等(970)
一个数据结构分析算法及其在暂态稳定评估中的应用·····	顾雪平 张志刚 张文勤(974)
基于小波原理的母差保护 CT 线性区开放法·····	李忠安 何奔腾(979)
一种自动分析变电站结构并形成倒闸操作票的智能方法·····	····· 赵博 段雪飞 肖鹏等(985)
智能化调度操作票系统的实现·····	尤钟晓 许巧燕 焦焱等(990)
面向配电网重构的进化规划法·····	刘莉 顾学允 王晓文(994)
用神经网络进行短期负荷预测——BP 改进方法的应用研究·····	····· 吴军基 苏炜宏 倪黔东等(998)
基于离散小波变换提取局部放电脉冲特征的分析·····	吴军基 杨小铭 刘皓明等(1002)
变电站自动化系统中设备运行管理的开发·····	刘政波 赵军红 陈祥初等(1006)
配电系统电压控制和无功优化的协调算法·····	张鹏 刘玉田 李仁俊(1010)
基于混合搜索算法的电力系统无功优化·····	马莉 刘玉田(1017)
基于相量测量和神经网络的暂态稳定控制决策·····	林飞 刘玉田(1023)
基于人工神经网络的电力系统中振荡与短路模式识别的研究·····	····· 郁惟镛 李航 康建洲(1028)
智能型变电站电压、无功综合自动控制装置·····	杜红卫 孙雅明 廖志伟等(1034)
基于人工神经网络的变压器励磁涌流识别·····	袁宇波 丁晓群 周玲等(1039)
人工智能技术在配电网故障后恢复供电中的应用·····	葛朝强 唐国庆 王磊(1044)

面向对象的电力规划智能决策支持系统 .....	周淑雄 孙海斌 王 磊等(1052)
对 ANN 谐波分析算法的构造与评价 .....	金 明(1058)
电网故障诊断专家系统的一种实现 .....	赵冬梅 徐开理 郭 锐等(1064)
BP 神经网络及其改进算法研究 .....	王 晖 韩新阳 毕研秋等(1069)
数字式谐波及无功电流自适应实时检测方法的研究 .....	张晓清 成顺清 冯裕钊等(1077)
火电厂内机组优化组合的遗传算法 .....	左 浩 陈昆薇 洪 潮等(1083)
基于模糊规则的神经网络训练 .....	陶小虎 黄民翔(1088)
一种基于人工神经网络和小波变换的短期负荷预报方法 .....	马 宁 陈允平(1095)

## 理论电工

混合电力滤波系统中无源滤波器参数的优化设计 .....	李庚银 周明 张 杰等(1103)
正交函数集研究电力系统谐波 .....	熊元新 陈允平(1109)
直线型直流接地极附近三维瞬态温度场计算 .....	阮江军 解广润 陈慈莹(1113)
在新息图中运用估计预报比识别拓扑错误 .....	李 昌 周苏荃 柳 焯(1119)
三相电路无功功率实用定义 .....	熊元新 陈允平(1124)
用于瞬时无功功率理论新的谐波检测方法 .....	朱革兰 刘前进 任 震(1128)
高压架空线附近的工频磁场 .....	张启春 喻剑辉 阮江军(1132)
备用电源自动投入装置的设计新准则 .....	刘志超 张群峰 叶念国(1137)
电力变压器绕组变形超声成像方法的研究 .....	舒乃秋 毛慧和 章述汉等(1140)
大型风电场及其电压特性的研究 .....	潘文霞 陈允平(1143)
工频弱磁场测量中的信号处理 .....	云文兵 阮江军 陈慈莹(1149)
分岔方法及其在电力系统中的应用 .....	王 建 刘永强 吴 捷(1154)
广义 Tellegen 定理在电力系统中的应用研究 .....	鲁宝春 王景利 王英红(1157)
改进网络简化法求解静态电压稳定分歧点 .....	陈浩河 张 尧(1162)
相序过滤器的数字仿真与分析 .....	王庆平 段雪飞 任志芳(1166)
同杆并架多回输电线附近的工频电磁场 .....	喻剑辉 阮江军 张启春(1172)

## 电力市场

关于我国电力市场的研究问题 .....	王锡凡(1179)
中国省级电力市场探讨 .....	刘福斌 陈 珩 李 扬等(1184)
合理回收容量成本的输电市场定价新方法 .....	辛洁晴 言茂松(1190)
用 OPF 分析实时电价下的传输拥挤管理 .....	黎 强 赵晋泉 侯志俭(1197)
电力市场电价理论的分析与综述(一)边际成本定价理论 .....	郑 斌 王秀丽(1202)
电力市场电价理论的分析与综述(二)竞价机制及转运电价 .....	郑 斌 王秀丽(1208)
电力市场过渡时期日发电调度计划编制软件包 .....	孙友江 潘云江 李庚银等(1216)
基于对策论方法的电力交易计划 .....	赵学顺 黄民翔(1221)
电力市场下双目标综合经济负荷分配模糊算法研究 .....	毛 弋 江 辉 张鹏飞等(1227)
电力市场中日有功调度的最大熵技术法寻优 .....	姚建刚 刘 涌 吴政球等(1236)

电力商品质量及其定量评价 .....	贾清泉 宋家骅 杨以涵(1240)
电力系统商业化运营模拟系统研制 .....	张粒子 董雷 鲍海等(1245)
基于电力市场运行原则的省网次日发电计划制定的研究 .....	鲍海 王雁凌 王鹏等(1250)
一种适应吉林电网发电市场模式的机组优化组合方法 .....	王鹏 张粒子 王雁凌等(1255)
功率分解潮流计算方法 .....	乔振宇 张粒子 于尔铿等(1260)
遗传算法在电力市场竞争机制中的应用 .....	李运灵 侯云鹤 熊信良等(1265)
电力市场中输电网络用户的定价 .....	祁海春 李光熹 熊曼丽(1270)
序优化在日竞标电力市场电力供应商选择竞标策略中的应用 .....	管晓宏 赖菲(1277)

## 教学研究及其它

现代工程教育与实践教学环节 .....	曾克娥 吴彤(1284)
新形势下工科毕业实习教学研究 .....	刘觉民 姚建刚(1289)
新形势下提高宽口径专业生产实习质量的一点尝试 .....	杨德先 熊信良 苗世洪(1292)
专业实验规范化教学改革的一点体会 .....	林蓉 曾克娥 吴希再等(1296)
提高专业外语教学质量的研究 .....	厉励 戚良娣(1299)
视频点播技术在校园点播教学中的应用 .....	吴军基 殷明慧 苏伟宏等(1303)
现代电力系统工程多媒体 CAI 软件 .....	丁坚勇 李勇 李劲波(1307)
通过 Authorware 实现电力系统继电保护 CAI 软件 .....	范春菊 张建新 林璋等(1311)
面向对象的自动控制理论辅助分析软件在 Windows 95/98 平台下的实现 .....	丁军威 孙雅明(1316)
基于微机的电力系统虚拟现实场景开发方法研究 .....	陈天翼 邱家驹(1320)
城市地下铁道中杂散电流的产生及其抑制 .....	贾俊波 简克良 曾欣荣(1325)
SCADA 系统通信规约及其标准化动态 .....	张岳匀 何志伟(1329)
制定火力发电机组检修计划的遗传/模拟退火混合算法 .....	陈少华 杨澎(1334)
输电线路除冰技术可行性分析及对策 .....	赵宏伟 刘波 李建伟(1338)
晶闸管串联调压电容无功补偿方法 .....	李民族 李秦伟 吴晓勇(1343)
一种实用的配网重构方案 .....	尤如华 王康元 钱源于(1349)
基于流跟踪算法的网损分摊 .....	伍瑞 顾晓辉 冯林桥(1355)
无损耗电阻器的实现原理及其在电力系统的应用 .....	陈寄炎 潘惠勇 陈仲铭(1361)
基于 386EX 的电铁微机综合自动化系统构成方案研究 .....	王物 陈利红(1369)
用于 AVR 闭环测试的同步发电机组励磁系统并行仿真装置设计方案的仿真研究 .....	王祎 刘为群 曾继伦(1373)
四相输电的变压器原理分析 .....	刘光晔(1378)
四相输电的架空线路分析 .....	刘光晔 杨以涵(1384)
A. C. Resistance of Low Voltage Cables in the Presence of Harmonics .....	Joe W. N. LAU, Brian H. M. O and Frankie Y. C. Leung(1389)
Electrical Energy Efficiency Practices in Hong Kong .....	Mr. Brian H. M. O Dr. Dennis N. K. Leung(1396)
论概念的关键词教学法 .....	程小华(1400)

# 电力系统规划、设计与可靠性

# 用优化排序法进行日发电计划的计算

王雁凌 张粒子 鲍海 王鹏 董蕾

(华北电力大学电力系 北京 102206)

**摘要** 本文针对目前我国电厂实行“按月报价”的实际情况,提出了一种切实可行的日发电计划的计算方法——优化排序法,并对日发电计划计算过程中的负荷平衡的动态调整,旋转备用的动态调整,日发电量权值的动态调整等几个主要方面的优化处理进行了详细的论述。本文以我国某省电力系统的具体数据为算例进行了分析,验证了该方法的实用性和有效性。

**关键词** 优化排序法;按月报价;上网电量;旋转备用

## 0 引言

### 0.1 我国电力市场现状

我国的电力行业正处于从计划经济向市场经济的转轨时期,如何依据我国现阶段的国情,妥善地、平稳地过渡到完全意义上的电力市场,制定实用、有效的日发电计划,具有很重要的现实意义。

目前我国实行的电厂报价系统是“按月报价”,还没有做到“按时报价”,这主要是基于以下两方面的考虑:

(1) 我国发电厂的性质比较复杂,有地方电厂,华能电厂,国有电厂等,其参加市场运作的资金来源渠道不同。如五六十年代建成的国有电厂,不需要还本付息,但这些电厂设备老化,技术比较落后,消耗水平高。而80年代以来新建的电厂虽然技术先进,但是建设投资大,需要还本付息。同时,水电和火电差异也非常严重。这些都不利于电厂在同一起点参与公平竞争,因而不能简单地仅以报价作为机组是否上网的依据。

(2) 我国发电机组的性能,尤其是机组的启、停性能远没有一些发达国家的优越,不能做到一日内随时启、停。这也是任何一种算法在处理问题时都应注意的实际问题。

### 0.2 几种日发电计划算法的比较

目前,国内外关于计算日发电计划的算法很多,如:整数规划法,混合整数规划法,分支限界法,拉格朗日松弛法,模拟退火算法,专家系统算法,动态规划法等等,但在既有效提高计算速度又不失全局最优解方面,都未能得到满意的结果。

整数规划法和混合整数规划法的变量维数很高,仅适用于小型的电力系统计算<sup>[2]</sup>。分支限界法单独使用的效果并不好,一般与其他方法配合使用<sup>[3]</sup>。拉格朗日松弛法若其乘子初值选取不当,会造成计算收敛缓慢,甚至不收敛<sup>[4]</sup>。模拟退火算法在理论上可以得到全局最优解,但计算时间较长。专家系统算法则主要依据调度员的经验<sup>[5][6]</sup>。动态规划法要想成为一种实用算法,必须在有效降低状态维数、提高运算速度方面有实质性的突破<sup>[7]</sup>。

本文基于我国电力市场的实际情况,在分析和总结前面的几种算法的基础上,提出了一种



新的日发电计划算法——优化排序法。与其它算法相比,优化排序法试图在实用性、计算速度和动态寻求全局最优解之间达到一定程度的平衡。

## 1 优化排序法

### 1.1 机组月上网发电量和机组日上网发电量

在讲述优化排序法之前,首先介绍两个概念:机组月上网发电量和机组日上网发电量。

机组月上网发电量是针对我国发电厂性质的复杂性,将发电机组的月上网电量分为月基本电量和月竞价电量两部分。月基本电量的确定是结合我国现阶段的基本国情,考虑了发电机组的性质,如:合同机组,退役机组,华能机组等;而月竞价电量的确定则是依据电厂按月所报的电价,体现了厂网分开、公平竞争的需要。随着电力市场改革的深入,基本电量在月上网电量中的比例会逐步减少,而竞价电量所占的比例会逐步增大。

机组日上网发电量是根据每日的负荷量,并考虑该日所有上网机组预留一定比例的备用容量来确定的。

### 1.2 基本原则

优化排序法是将机组月上网发电量与该机组的额定功率的比值为基准量进行排序,并根据日负荷预测曲线、网间联络线情况、机组特性情况以及人工干预情况,初步决定每日的上网机组和上网时段,并根据以下基本原则,对日发电计划的计算进行优化:

#### (1) 动态调整原则

含:机组月、日发电量根据发电计划完成情况的动态调整;日发电计划中机组 96 点出力之间的动态调整;用于计算日发电计划的日发电量权值的动态调整;人工干预进行动态调整等等。

#### (2) 多中选优原则

在动态调整的基础上进行多次计算,从中选取最优解。

### 1.3 动态调整

下面着重针对动态调整原则的四个方面进行详细地论述。

#### 1.3.1 机组月、日发电量根据发电计划完成情况的动态调整

机组的每月、每日上网发电量的完成情况都有相应的记录,在日发电计划的制定过程中,本着后月对前月负责,后日对前日负责的原则,可以对发电量的完成情况进行动态调整。

#### 1.3.2 日发电计划中机组 96 点出力之间的动态调整

主要包括负荷平衡动态调整和旋转备用动态调整两种情况。

##### 1.3.2.1 负荷平衡动态调整

首先根据日 96 点负荷预测值分配各机组每时段的出力,但由于各机组的特性约束,需重新调整部分机组的出力,这样就有可能造成在某时段  $t$  机组出力与负荷不平衡。在满足机组特性的条件下,调整机组出力,使负荷达到平衡,即:  $\sum P_{K,t} = P_{D,t}$

式中:  $P_{D,t}$  ——  $t$  时段点的负荷预测值;

$\sum P_{K,t}$  ——所有上网机组在  $t$  时段的发电功率;

若在  $t$  时段通过调整,不能满足负荷平衡的要求,则可以根据机组的爬升和下降特性重新调整前一个或几个时段点的出力。

##### 1.3.2.2 旋转备用的动态调整

### (1) 旋转备用概念的扩展

各时段点的机组出力满足旋转备用的要求,是从安全性的角度考虑的。这里又根据旋转备用的概念引申出上旋转备用和下旋转备用两种。

#### · 上旋转备用

上旋转备用中,除了考虑每时段点出力机组有可能发生故障的情况外,又进一步考虑了负荷预测的 3% 的误差允许范围,因此每时段的上旋转备用是  $\max(3\%P_{D,t}, \max(P_{K,t}))$ ,

式中:  $\max(P_{K,t})$  ——  $t$  时段点单台机组最大出力值;

$K$  —— 机组台数,  $K = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

#### · 下旋转备用

下旋转备用在程序中其实是考虑了负荷预测偏差的影响,每时段的下旋转备用值为  $3\%P_{D,t}$ 。

### (2) 旋转备用的处理

#### · 计算各时段旋转备用

$$P_{BU,t} = \sum \min[\Delta P_{\max,U,K,t}, P_{\max,K,t} - P_{K,t}]$$

$$P_{BD,t} = \sum \min[\Delta P_{\max,D,K,t}, P_{K,t} - P_{\min,K,t}]$$

式中:

$P_{BU,t}$  ——  $t$  时段电网上旋转备用容量;

$\Delta P_{\max,U,K,t}$  —— 机组  $K$  在  $t$  时段的最大上升速率;

$P_{\max,K,t}$  —— 机组  $K$  在  $t$  时段的最大允许发电功率;

$P_{K,t}$  —— 机组  $K$  在  $t$  时段的发电功率;

$P_{BD,t}$  ——  $t$  时段电网下旋转备用容量;

$\Delta P_{\max,D,K,t}$  —— 机组  $K$  在  $t$  时段的最大下降速率;

$P_{\min,K,t}$  —— 机组  $K$  在  $t$  时段的最小允许发电功率。

#### · 旋转备用的处理

若在  $t$  时段的旋转备用容量不能满足要求,可以重新调整前几个时段点的机组出力,将升降特性好的机组尽早腾空,以增加旋转备用。

### 1.3.3 日发电量权值的动态调整

将机组的日上网发电量按照各自的权系数分配到 96 个时段,每台机组权系数初值为其日上网发电量占所有机组日上网发电量之和的比,即:  $Q_K = W_K / \sum W_K$ 。

式中:  $Q_K$  —— 机组  $K$  的日发电量权系数;

$W_K$  —— 机组  $K$  的日上网发电量;

$\sum W_K$  —— 所有机组日上网发电量之和;

计算完首轮日发电计划后,会有部分机组未完成其日上网发电量,则其日发电量权值会动态调整为  $Q'_K$ ,  $Q'_K = (W_K + W'_k) / \sum W_K$ 。

式中:  $W'_k$  —— 机组  $K$  的日上网发电量未完成量;

并按调整后的日发电量权值进行新一轮日发电计划计算,当完成若干次循环后,将最好的一次结果保存下来。

### 1.3.4 人工干预下的动态调整

另外,考虑了调度人员的经验和在调度过程中所遇到的实际情况,如机组的检修,需要在指定的时间启机或停机;某些机组需要做试验,在一天中的若干时段以不同出力运行等,算法中还可以在人工指定机组启、停时间,指定机组不同时段出力范围情况下进行动态调整。

## 2 算法在编程中的实现

### 2.1 算法实现流程

在实现优化排序法时,我们选用了面向对象技术来描述在计算时将会用到的各个操作对象,实现了具有如下层次的基本类结构,如图1所示。

其中,抽象机组类只包含了发电机组最一般的属性和方法,如机组编号等;网间联络线类包括了与网间联络线有关的属性和方法;可调机组类是一个派生类,它抽象出了所有具有可调能力机组的属性,如前文中所述的动态调整方法等等;其它各类分别对应于一个具体的实际发电机组类型,负责处理所有与之相关的事情,如读写数据库等。

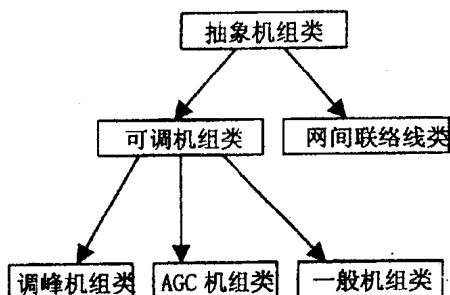


图1 优化排序法的基本类结构

由于大量采用了面向对象技术中的继承和多态技术,故在编写代码时,一切都显得较为直观,整个系统的总控程序可描述如下:

(1) 生成一个数组 machines,其中的各个数组元素都为抽象机组类。根据面向对象技术原理,这些元素也同时可作为指向抽象机组类子类的指针使用。

(2) 从数据库中读取数据,生成各个机组对象。

(3) 计算日发电量。

(4) 计算日发电计划,包括:负荷平衡动态调整;备用调整等等。

(5) 日发电计划结果是否理想?是,转7;不,转6。

(6) 进行动态调整,进行多次计算,并选取最优,转7。

(7) 依据日发电计划结果动态调整以后的日发电量。

(8) 将计算结果提交给用户做动态调整。转9。

(9) 将结果写入数据库。计算结束。

### 2.2 算例分析

某省电力局电网调度处共有59台机组,在一台P II 266上对该系统应用本文中讲到的优化排序法进行日发电计划计算,结果如下所示。图2给出了1999年某日负荷预测与该日发电计划计算结果对照曲线;图3给出了1#机组在人工指定启、停时间条件下调峰机组的96点出力曲线。

对整个运算过程和结果进行分析,我们可以得到如下结论:

(1) 运算速度快,整个运算过程平均运算时间小于10秒。

(2) 由图2可以看到,发电计划计算结果与负荷预测曲线基本重合,其最大误差在负荷预测的3%范围之内。运算结果准确,可以满足用户对计算精度的要求。(3) 由图3可