

清华大学科技成果重点推广项目

目 录 (电 力)

大电力系统可靠性评估软件包(BESRE-TH)	1
地区电网可靠性评估 (DSRE-TH) 软件	3
电气主接线可靠性评估 (SSRE-TH) 软件	5
配电静止同步补偿器 (DSTATCOM)	6
串联型动态电压调节器	13
电力线路故障电流分布与地线回流系数计算软件	19
长中短期电力市场预测软件包 (TH-PSLF)	20
电力规划决策支持系统 GOPT.....	22
电力市场模拟系统	24
短期电力市场预测软件包(TH-STLF).....	26
电力规划数据库与信息系统.....	28
太阳能光伏发电、照明系统.....	29
电气设备在线监测系统.....	30
数字控制不停电电源(UPS).....	31
长中短期能源优化调度管理系统.....	35
发电公司报价辅助决策解决方案.....	36
考虑气象因素的用电负荷预测软件包.....	38
时变无功优化.....	40
电力电子设备的数字化控制装置.....	42
直流有源电力滤波技术.....	44
交流伺服系统的自适应控制技术.....	46
HPR-7000 系列输电线路高精度故障录波与测距装置	47
新型动态电能质量控制技术.....	49
大型发电机定子绕组内部故障分析及其主保护的定量化设计.....	51
基于软分区的三级无功电压优化控制系统.....	53
矩阵式变换器的研究	58

三相新型综合电力滤波器装置	61
三相有源电力滤波器装置	64
新型综合电力滤波器装置	66
RTV 单组分绝缘子防污闪憎水长效涂料	67
分布式能源发电	69
电力运行管理系统.....	70
高压开关设备在线监测与故障诊断系统	72
厂站培训仿真系统.....	76
电力市场交易系统.....	79
电子束烟气净化	81
循环流化床煤气 - 热 - 电“三联产”技术	81
半干法循环流化床烟气脱硫技术.....	83
垃圾清洁焚烧及综合利用	84
电站锅炉运行优化控制系统.....	92
电站模拟仿真技术.....	95
水利水电工程全系统瞬变流仿真计算平台.....	97
新型节能环保自控燃煤锅炉.....	98
无线远程自动抄表系统.....	99
离子交换树脂的电再生技术.....	102

大电力系统可靠性评估软件包(BESRE-TH)

1 成果简介

大电力系统可靠性评估软件包 (Bulk Electricity System Reliability Evaluation -- Tsinghua, BESRE-TH) 是清华大学电机系开发的用于评估复杂电网的可靠性的分析软件, 主要功能模块包括:

- 1) 发输电合成系统可靠性评估软件;
- 2) 发输电合成系统元件可靠性灵敏度分析软件;
- 3) 发电系统可靠性评估软件;
- 4) 可靠性和经济性协调分析。

该软件采用面向对象方法, 在 Visual C++6.0 下开发, 基于可靠性数据库, 适用于大规模中高压电力系统的可靠性、经济性评估, 为系统规划和运行人员提供定量的科学依据。

2 软件特点

(1) 系统可靠性评估软件

发输电合成系统可靠性评估软件的主要目标是评估合成系统向供电点供应电力和电量的能力。由于考虑到所有的单重、多重故障, 可以提高计算结果的精度; 采用查找双重故障加速表评估多重故障可以大幅度地提高评估的速度, 节省了计算时间。本软件计算的可靠性指标包括: 电力系统供电中断指数、电力系统能量切除指数、电力系统平均负荷切除值、负荷点平均切负荷次数、负荷点平均负荷切除值、负荷点平均能量切除值、负荷点平均切负荷持续时间等七个。

(2) 系统可靠性灵敏度分析软件

发输电合成系统可靠性灵敏度分析软件的主要目标是获得改善系统可靠性指标的措施。软件以大电力系统评估软件评估结果为基础, 分析单一元件 (发电机、线路、变压器、电抗器、电容器等) 的可靠性参数 (故障率和修复率) 对系统可靠性指标的影响程度, 从而获得系统元件可靠性灵敏度指标, 对提高系统可靠性指标提出改进措施。

(3) 发电系统可靠性评估软件

发电系统可靠性评估软件的主要目标是确定电力系统为保证充足的电力供应所需的发电容量。软件故障用递推算法建立概率表, 加快计算速度; 用等风险度法处理计划检修; 负荷模型分别采用两级日负荷模型和小时日

负荷模型。主要功能为建立故障概率表、计算可靠性指标，包括 LOLP、EENS、F&D 和 SM 等，提出计划检修的排定建议。

(4) 可靠性和经济性的协调分析

可靠性和经济性协调分析的目标是在寻求可靠性合理的前提下经济性最优的规划、运行方案。运用产电比方法，通过年最小费用分析对多种方案进行优化排序，提供用户进行规划、运行决策的基础信息。

3 技术指标

(1) 采用面向对象的软件设计方法，用 Visual C++6.0 语言编制，结构清晰，可移植性强；

(2) 适用于 WindowsNT/98/2000/XP/2003 系列操作系统，人机界面友好，输入输出便捷；

(3) 可靠性数据库后台建立用 Microsoft Access97/2000，前台界面用 Visual C++6.0 实现，可扩充性和可维护性强。

基本使用环境要求：

计算机硬件配置：Pentium 200MMX 及以上 CPU，64M 及以上内存的各种微机。推荐运行配电系统可靠性评估软件采用 Pentium III 350 及以上 CPU、128M 及以上内存。

软件环境：计算机需配备中文 Windows98/2000/XP/2003 操作系统以支持汉字环境，还需配有 Access97/2000/XP/2003 数据库软件。

4 应用说明

本软件已应用于东北与华北联网可行性研究，田湾核电站外电网可靠性评估、秦山核电站（一期）外电网可靠性评估等实际工程项目中，软件的可用性得到了较好的证明。

通过软件的计算分析，可获得对目标电网的可靠性水平的综合评价指标，并通过灵敏度分析对网络的薄弱环节进行辨识，从而对电网整改、运行提出建议措施。

本软件的推广应用前景良好，各个大区电网以及全国联网均可采用本软件进行综合方案优化分析。

5 合作方式

面议。

地区电网可靠性评估 (DSRE-TH) 软件

1 成果简介

配电系统可靠性评估软件 (Distribution System Reliability Evaluation - Tsinghua, DSRE-TH) 采用面向对象方法, 在 Visual C++6.0 下开发, 基于可靠性数据库, 适用于大规模配电系统可靠性、经济性评估, 并可对系统运行状态进行分析, 为系统规划和运行人员提供定量的科学依据。目前的最新版本是 2.0。

软件功能：

该软件既可以对辐射状配电系统进行可靠性评估, 还可以对环网等复杂的配电系统进行可靠性评估。可靠性评估以故障影响分析法为基础, 考虑了故障后的潮流及电压约束; 潮流分析采用快速分解法; 经济分析采用成本/效益分析法。在有关技术规范指导下, 运用可靠性数学方法对配电网可靠性进行定量计算, 具体包括如下功能：

- ◆ 大规模配电系统可靠性评价。它可以计算出配网负荷点的各种可靠性指标和全系统的可靠性指标：
 - ✧ 负荷点 i 的平均故障率 I_i (次/年)。
 - ✧ 负荷点 i 的平均停运持续时间 r_i (小时/次)。
 - ✧ 负荷点 i 的年平均停运时间 U_i (小时/年)。
 - ✧ 负荷点 i 由于系统故障引起的评价断开负荷 L (MW)。
 - ✧ 负荷点 i 由于系统故障引起的平均电量不足 E (kWh)。
 - ✧ 系统平均停电频率指标 SAIFI (次/用户·年)。
 - ✧ 用户平均停电频率指标 CAIFI (次/停电用户·年)。
 - ✧ 系统平均停电持续时间指标 SAIDI (小时/用户·年)。
 - ✧ 用户平均停电持续时间指标 CAIDI (小时/停电用户·年)。
 - ✧ 平均供电可用率指标 ASAI。
 - ✧ 平均供电不可用率指标 ASUI。
 - ✧ 电力不足指标 ENS (MW)。
 - ✧ 平均电力不足指标 AENS (MW/用户)。
 - ✧ 平均用户削减指标 ACCI (MW/停电用户)。
- ◆ 配电系统潮流分析和稳态故障计算
- ◆ 配电系统电压水平和功率损耗计算

- ◆ 配电系统可靠性经济分析
- ◆ 配电系统可靠性数据库

该软件适用于各种类型的地区电网以及大中型企业的区域电网的可靠性评估和分析。在对现有配电网的可靠性进行定量评估的基础上，分析研究配电网的薄弱环节和可用的补救手段，为提高配电网可靠性提供综合解决方案。

2 技术指标

(1) 采用面向对象的软件设计方法，用 Visual C++6.0 语言编制，结构清晰，可移植性强；

(2) 适用于 WindowsNT/98/2000/XP/2003 系列操作系统，人机界面友好，输入输出便捷；

(3) 可靠性数据库后台建立用 Microsoft Access97/2000，前台界面用 Visual C++6.0 实现，可扩充性和可维护性强。

基本使用环境要求：

计算机硬件配置：Pentium 200MMX 及以上 CPU，64M 及以上内存的各种微机。推荐运行配电系统可靠性评估软件采用 Pentium III 350 及以上 CPU、128M 及以上内存。

软件环境：计算机需配备中文 Windows98/2000/XP/2003 操作系统以支持汉字环境，还需配有 Access97/2000/XP/2003 数据库软件。

3 应用说明

本软件已应用于天津城南配电网、燕山石化地区电网等配电网的可靠性分析研究，获得了良好的效果。

以燕山石化地区电网可靠性研究为例，北京燕山石油化工有限公司是隶属于中国石化集团公司的特大型石油化工联合企业，其区域供电网是由两个 220kV 变电站及其 110kV、35kV、10kV 和 6kV 变电站（所）及相应的架空输电线和电缆组成。化工企业的连续生产特点对电网的可靠性，尤其是供电连续性指标提出非常高的要求。电网的安全稳定持续运行，是整个生产顺利进行的基本保障。本项目的目标是通过一系列的可靠性定量计算分析，了解燕山石化电网的可靠性水平现状，为下一步的电网改造工作提供指导性建议。研究结果表明，经过多年运行后，运行可靠性水平已经大大低于最初的设计标准，电网可靠性迫切需要提高。而且，通过定量的

比较分析，从变电站主接线、配电网和架空线防雷三个方面提出了具体的改进措施建议。

4 效益分析

本软件的推广应用前景良好。各个地区电网以及各类大中型企业电网的改造分析中均可采用本软件进行综合方案优化分析。对企业而言，电网可靠性的提高会直接带来成本的降低，经济效益巨大，市场前景看好。

5 合作方式

面议。

电气主接线可靠性评估（SSRE-TH）软件

1 成果简介

发电厂及变电所电气主接线可靠性评估软件（SSRE-TH，Station and Substation Reliability Evaluation, Tsinghua University）是由清华大学电机系开发的基于 PC 机和 Windows 系列操作平台的软件，用于水电站/变电所电气主接线可靠性的评估。目前的最新版本是 3.0。

该软件能够对水电站的各种电气主接线方案进行可靠性及经济性评估；同时，通过计算条件的改变，也能够对变电站的电气主接线进行可靠性及经济性评估。在有关技术规范指导下，运用可靠性数学方法对电气主接线可靠性进行定量计算，具体包括两项功能：（1）计算得到电气主接线在各种运行、检修和元件故障组合状态下的停电容量、频次、时间及停电损失等指标；（2）进行电气主接线方案的技术经济综合评价，为主接线方案决策提供辅助信息。

2 技术指标

用该软件评估主接线的可靠性，可以得到如下判据的负荷点、电源点可靠性指标和系统可靠性指标。

- 任一回（进、出）线路发生故障停运；
- 任二回（进、出）线路发生故障停运；
- 用户输入指定的任意组合的高阶故障停运；
- 全厂发生故障。

可靠性指标涵盖了连续性、充裕度、安全性三方面的指标，包括各种状

态下的故障概率、故障频率、故障平均停电时间、期望故障受阻电力、期望故障受阻电能。

3 应用说明

该软件适用于 110KV 及以上大中型电厂/变电所电气主接线设计中的方案比较，局部接线比较和主设备的选型比较。也可用于已经投运的电厂/变电所的可靠性定量评估，为运行调度，计划检修安排等提供辅助决策信息。

本软件的用户反馈该软件为设计研究人员的主接线设计工作提供了良好的辅助决策工具。

4 合作方式

面议。

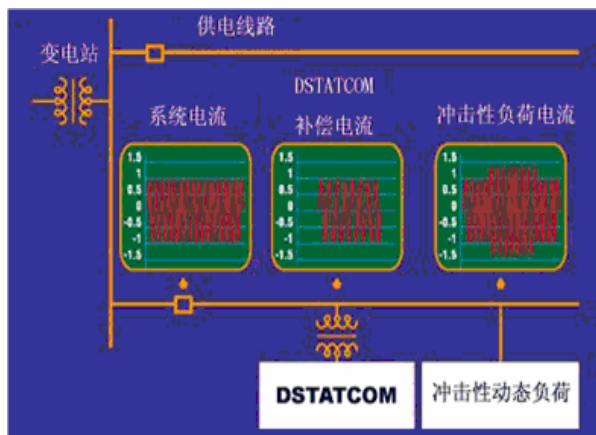
配电静止同步补偿器（DSTATCOM）

1 成果简介

STATCOM (STATic synchronous COMPensator 的缩写，即静止同步补偿器)是柔性交流输电技术(Flexible AC Transmission System ,简称 FACTS)的主要装置之一，它代表着现阶段电力系统无功补偿技术新的发展方向。STATCOM 能够快速连续地提供容性和感性无功功率 ,实现适当的电压和无功功率控制，保障电力系统稳定、高效、优质地运行。

迄今为止，国际上已经投入电力运行的 STATCOM 来自 5 个国家：中国（清华大学 FACTS 研究所）、德国（Siemens 公司）、瑞典（ABB 公司）、英国(Alstom 公司)、日本(Toshiba 和 Mitsubishi 公司)。由清华大学 FACTS 研究所与河南省电力公司合作研制的一台 $\pm 20\text{MVar}$ 的 STATCOM 已于 1999 年在河南洛阳投入运行；目前，一台 $\pm 50\text{MVar}$ 的 STATCOM 正在研制中，将在上海 500kV 电网投运。

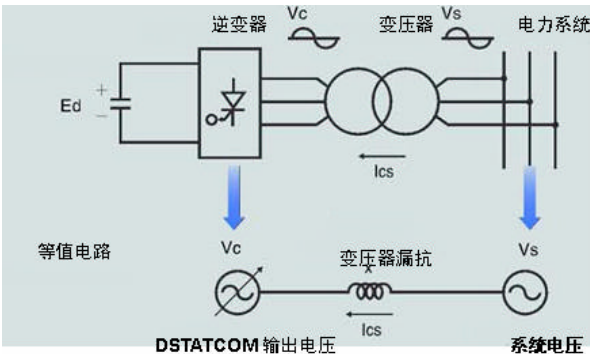
在配电网中，将中小容量的 STATCOM 安装在某些特殊负荷（如电弧炉）附近，可以显著地



改善负荷与公共电网连接点处的电能质量，例如提高功率因数、克服三相不平衡、消除电压闪变和电压波动、抑止谐波污染等等。这种在配电网中用来提高电能质量的 STATCOM 一般称为 DSTATCOM。

2 技术指标

(1) 配电静止同步补偿器

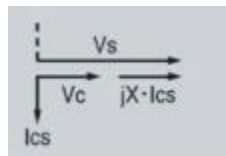
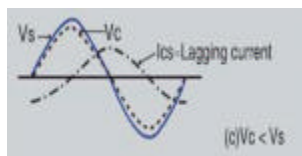


DSTATCOM的原理接线图

DSTATCOM的基本原理就是将自换相桥式电路通过电抗器并联或者直接并联在电网上，适当地调节桥式电路交流侧输出电压的幅值和相位，或者直接控制其交流侧电流就可以使该电路吸收或者发出满足要求的无功电流，实现动态无功补偿的目的。

运行模式	波形	相量图	说明
空载运行模式			如果 $V_s = V_c$,则 $I_{cs} = 0$
容性运行模式			如果 $V_c > V_s$,则 I_{cs} 为超前的电流。因为该电流的幅值能够通过调节 V_c 而连续控制，所以 STATCOM 起到电容器的作用，且其容抗可以连续控制

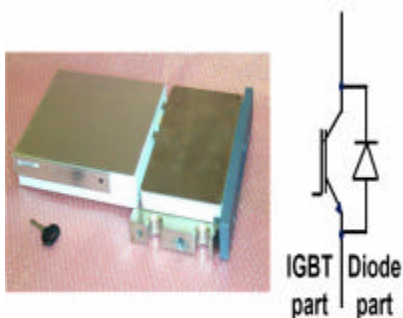
感性
运行
模式



如果 $V_c < V_s$,则 I_{cs} 为超前的电流。此时 STATCOM 起到电抗器的作用,且其感抗可以连续控制

(2) 配电同步补偿器

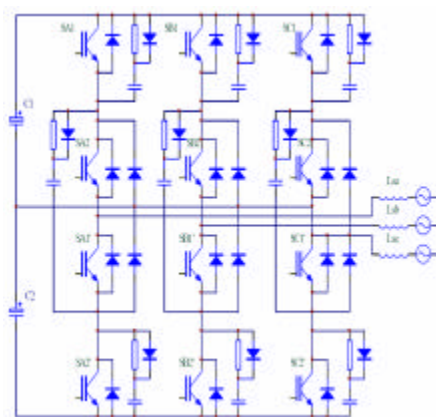
(2.1) DSTATCOM 的关键器件



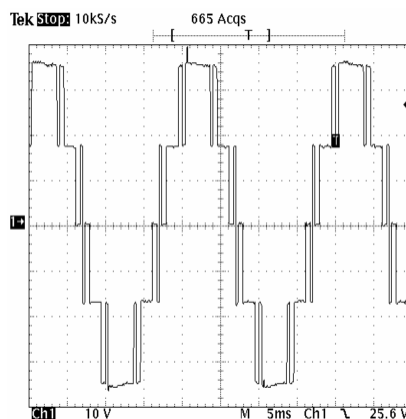
The IGBT	
■ Nominal current	1300 A
■ Rated voltage	2500 V
■ Switching frequency	1350 Hz
■ Presspack	

DSTATCOM 采用的开关器件——IGBT (绝缘栅双极型晶体管)

(2.2) DSTATCOM 的主电路结构



DSTATCOM 的主电路结构



DSTATCOM 输出的线电压波

(3) DSTATCOM 模块技术参数

额定电压	380V , 6.6kV , 10kV
$\pm 2\text{MVar}$ 模块	开关器件：IGBT 适于组成 2/4/6/8MVar 的 DSTATCOM 装置
$\pm 5\text{Mvar}$ 模块	开关器件：IGBT 或 IGCT 适于组成 5/10/15/20Mvar 的 DSTATCOM 装置

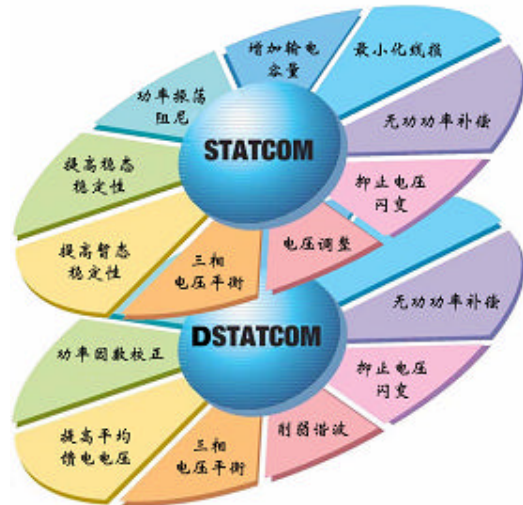
3 应用说明

电能质量的高低直接影响到工矿企业的经济效益。通常，钢铁、冶金、矿山、电气化铁路、风电厂以及其他具有或者靠近冲击性负荷和大容量电动机的工业领域，均需要采取 DSTATCOM 以提高电能质量。

以钢铁冶金公司为例，目前，大多数钢铁公司采用了交流电弧炉，而且电弧炉的单台容量越来越大，很多都已超过 100t。电弧炉耗电量大，且功率因数低，其

运行特性决定了它会对供电造成很大的冲击，会引起配电网电压闪变、电压波动、三相不平衡和高次谐波等严重的电能质量问题。电弧炉引发的电能质量下降不仅直接影响到钢铁公司自身的经济效益、产品质量和设备安全，还影响到周边企业用电和用户照明。为了提高电能质量，国内外很多钢铁公司采用了无功补偿装置。

上世纪 70 年代，静止无功补偿器(SVC)技术逐渐成熟，并广泛应用于各种工业场合，也被广泛应用于钢铁冶金企业，对电弧炉进行补偿，并得到了良好的补偿效果和显著的经济效益。随着用户对产品品质要求的不断提高，和钢铁公司对利润的更大追求，SVC 的性能已经不能满足人们对电能质量越来越严格的要求。作为 SVC 的换代产品，DSTATCOM 这种高性能的新型无功补偿装置技术日趋成熟，并在全球范围内的钢铁公司得到应用。



(1) DSTATCOM 较 SVC 的优势

(1.1) 响应极为迅速：

DSTATCOM 响应时间： 10ms

传统静补装置响应时间： 20~40ms

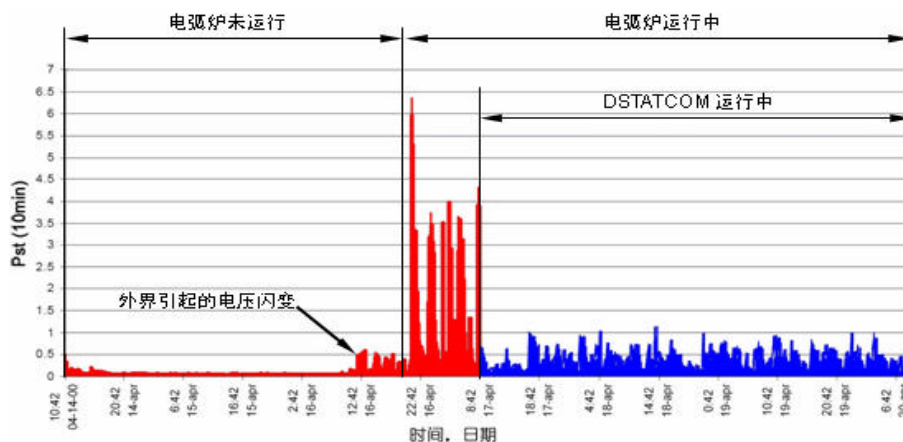
DSTATCOM 从额定容性无功功率变为额定感性无功功率(或相反)可在 1ms 之内完成，这种无可比拟的响应速度完全可以胜任对冲击性负荷的补偿。

(1.2) 电压闪变抑制能力倍增

SVC 对电压闪变的抑制最大可以达到 2:1，DSTATCOM 对电压闪变的抑制很容易达到 4:1 甚至 5:1。

SVC 受到响应速度的限制，即使增大装置的容量，其抑制电压闪变的能力不会增加；而 DSTATCOM 不受响应速度的限制，增大装置容量可以继续提高抑制电压闪变的能力。

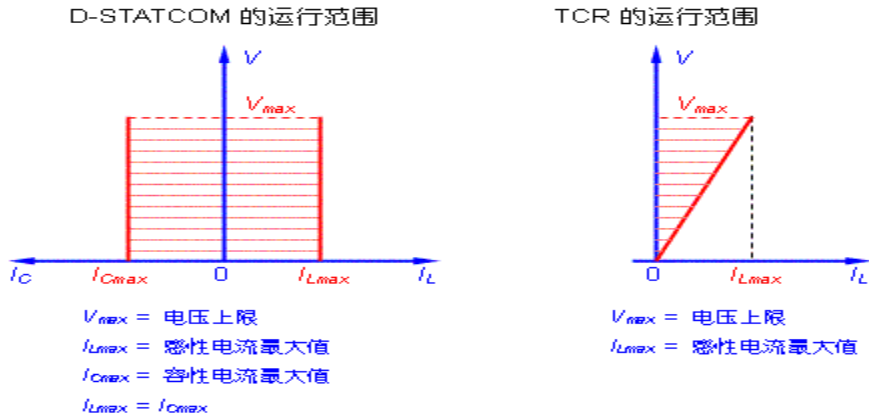
下图为瑞典 Uddeholm Tooling 钢铁公司在 DSTATCOM 投入运行前后实际采集的电压闪变数据。从图中可以看出，DSTATCOM 投入运行之后，电压闪变降低了近 5 倍。



(1.3) 运行范围更宽

DSTATCOM 通过直接调节无功电流实现无功功率补偿，SVC 通过调节等值阻抗实现无功功率补偿。DSTATCOM 发出的无功电流基本不受系统电压高低的影响，而 SVC 发出的无功电流与系统电压成比例。

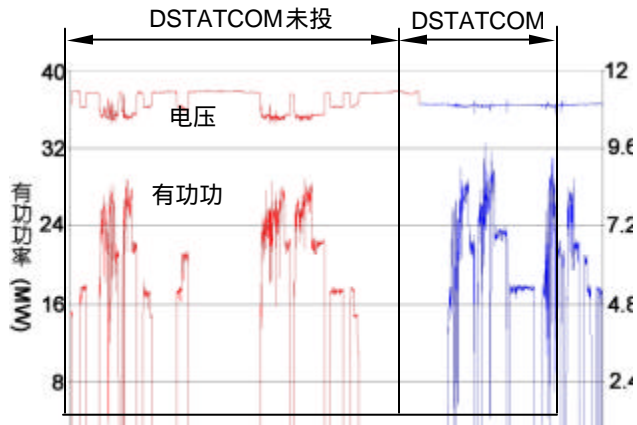
DSTATCOM 发出的无功功率与系统电压成正比，SVC 发出的无功功率与系统电压的平方成正比。因此当系统电压降低时，DSTATCOM 发出的无功功率呈线性规律下降，而 SVC 发出的无功功率呈二次指数规律下降。



(1.4) 能够在一定范围内提供有功功率

DSTATCOM能够在一定范围内提供有功功率，减少有功功率冲击。SVC 只能提供无功功率，不具备提供有功功率的功能。

DSTATCOM能够减少电压脉动，提高平均馈电电压，这对提高炼钢效率和质量非常有利。



(1.5) 谐波含量很低

DSTATCOM采用了高频脉宽调制(PWM)技术或者多电平技术，不仅自身产生的谐波含量很低，而且可以在一定程度上削弱负荷产生的谐波。SVC本身是一个很大的谐波源，它对系统的影响大小，取决于与其匹配安装的滤波器的性能。

(1.6) 噪声降低

DSTATCOM 中电容、电感等元件采用了与 SVC 完全不同的技术和制作工艺，运行过程中电磁噪声显著降低。

(1.7) 占地面积减半

由于无需高压大容量的储能元件(如电容器和电抗器)，故 DSTATCOM 的占地面积通常只有相同容量的 SVC 的 50%。

(1.8) 功率损耗低，节电效果显著

在 SVC 中，电抗器的功耗约占装置总功耗的一半。而 DSTATCOM 无需大容量的电抗器作为储能元件，功耗大大降低。DSTATCOM 的功率损耗比同容量的 SVC 至少低 2 个百分点。

4 效益分析

DSTATCOM 能够有效改善配电网的电能质量，可以为配电网中的厂矿用户带来可观的经济效益。以瑞典 Uddeholm Tooling 钢铁公司的 DSTATCOM 项目为例，该钢厂有一台 66 吨的电弧炉，额定功率 31.5MVA，过载能力 20%；一台精炼炉，额定功率 6MVA，过载能力 30%。两座电炉均由 132kV 线路通过 132kV/10.5kV 变压器供电。未安装 DSTATCOM 前，该钢厂是配电网中一个大的电能质量污染源，其负荷造成的电压跌落、闪变等问题，既影响周围的用户，又影响自己的生产。在其 10.5kV 供电母线安装一套 ± 22 MVA 的 DSTATCOM 设备后，钢厂的各项指标变化如下：

电炉母线电压	10.5kV
电弧炉额定功率	31.5/37.8MVA
精炼炉额定功率	6/7.7MVA
DSTATCOM 的动态补偿范围	± 22 MVA
电压闪变减少倍数	3~5
补偿后公共连接点处电压闪变水平	$P_{st}(95\%) = 1$
公共连接点处功率因数	$P.F. > 0.95$
电极消耗减少	0.27 kg/吨 (11%)
耗电减少	25 度/吨 (4%)
单炉冶炼时间减少	18 分钟 (14.5%)

从上表可以看出，安装 DSTATCOM 装置后，对于该钢铁厂而言，至少可以带来三方面的收益。首先是该钢厂的供电接入点的电能质量有了很大改善，可以达到供电部门对于电力用户的要求，避免了供电部门的罚款；其次，大型设备（电弧炉和精炼炉）的运行效率有了很大提高，单位时间的产出量增加；再次，由于功率因数和电压质量的提高，单位产量的耗电量和电弧炉电极的消耗量都有明显下降，降低了生产成本。综合而言，DSTATCOM 装置的经济效益非常明显。

以年产量 60 万吨计算，该台 DSTATCOM 的安装每年可以节约电弧炉电极 10 万公斤以上，每年节电可达 1500 万度，再加上增产效益和节省的

罚款，直接经济效益可以达到 2000 万元以上。

此外，DSTATCOM 削弱了谐波和负序电流对电气设备的危害，抑制了电压闪变对周边企业生产和照明的影响，具有显著的社会效益。

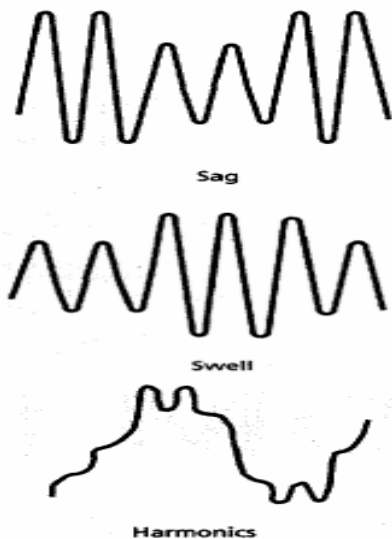
4 合作方式

面议。

串联型动态电压调节器

1 成果简介

随着现代科学技术的发展，供电系统中增加了大量的非线性负载，会引起电网电流、电压波形发生畸变，造成电网的“污染”；由于负荷扰动、电力系统故障引起的电压波动、瞬间跌落等电能质量问题也很常见。对于用户关心的电压质量问题，IEEE 等一些专业机构推荐使用以下一些术语来描述：



电压骤降(Sag)：短时间内电压幅值降低；

电压骤升(Swell)：和电压骤降相对应的电压升高超过标称电压至 1.1-1.8p.u 的过程；

供电中断(Interrupt)：有时候也将短时间的供电中断称为(Outage)，发生供电中断时，系统电压下降到 0.01p.u 以下；

电压波动 (Fluctuation)：即电压方均根值一系列的变动或连续的改变；

闪变 (Flick) 即灯光照度不稳定造成的视感，是由波动负荷，如电弧炉、轧机、电弧焊机等引起的。

另外还有谐波(Harmonics)、电压不平衡(Voltage Unbalanced)、过电压(Overvoltage)和欠电压(Undervoltage)等。

上述这些电压质量问题，对于要求精密控制的现代工业系统以及对电压敏感的电力用户而言，其破坏性将造成巨大的损失。因此，采取补偿措施对于这些电力用户而言是必要的。

电压质量问题不仅会影响电力用户，而且会向输配电系统渗透，导致

供用电设备本身的安全性降低，严重削弱和干扰电网的经济运行。针对这些问题，国家技术监督局相继颁布了涉及电能质量 5 个方面的国家标准，即：供电电压允许偏差、供电电压允许波动和闪变、供电三相电压不平衡度、公用电网谐波以及供电频率允许偏差等指标极限。这些标准的制定和颁布执行都表明近年来电能质量问题越来越受到用户和供电部门的重视。这也要求电力用户采取措施改善配电电能质量。

目前串联型动态电压调节器（Dynamic Voltage Regulator，简称 DVR）是配电网电能质量控制设备中的代表。串联型补偿装置是最近几年新兴和发展起来的一类补偿装置，从电路拓扑的角度来说，串联型补偿装置具有与并联型补偿装置相对应的补偿功能。

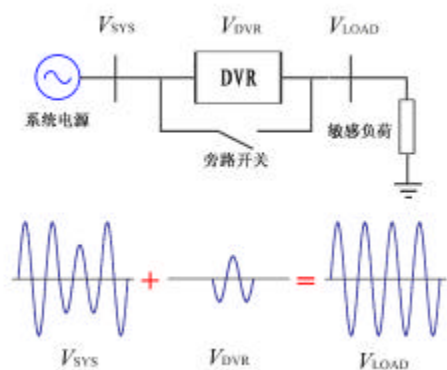


图 1 串联型动态电压调节器工作原理示意图

图 1 为动态电压调节器的工作原理图。DVR 装置串联在系统与敏感负荷之间，当供电电压波形发生畸变时，DVR 装置迅速输出补偿电压，保证敏感负荷感受不到系统电压波动，确保对敏感负荷的供电质量。

根据我国的配电网结构，低压配电网是配电网污染的主要来源。它是输电网的末端，也是很多敏感用户的电源。所以，用户对电能质量的要求可能会更高，不仅要求补偿动态电压跌落，而且对稳态过电压，欠电压，电压

谐波，闪变等电压指标也提出了更加严格的要求。因此，高性能、高可靠性、低成本的应用于低压配电网的串联型动态电压调节器成为电能质量敏感用户的首选。

根据目前我国电网中主要电压质量问题的状况，串联型动态电压调节器的设计中注重以下三个原则：

1) 可靠性——尽可能提高设备运行的可靠性、适应性，包括负载适应性、系统电压畸变适应性以及提供充足的可靠性设计（如冗余设计方案、接触器不间断切换方案）等。一方面提高 DVR 装置本身的可靠性与适应性，另一方面，从系统设计方案的角度的，无论在系统电压畸变、波动等情况下或者 DVR 装置本身发生故障时，都确保负载的连续安全正常工作。

2) 经济性——具有更高的运行效率，损耗小；结构紧凑、体积小，占

地面积小；日常维护工作量很小。装置整体具有更高的经济性。

3) 功能性——以多功能，多治理为目标的电压质量问题综合治理装置。包括抑制动态和稳态的电压跌落，浪涌，闪变；抑制电力系统电压谐波；抑制三相电压不平衡等功能。

2 技术优势

DVR 与传统 UPS 相比，具有明显的技术优势：

■可靠性高。

DVR 在设计上有如下特点：无电池设计、电压和电流保护、基于 IGBT 设计，可以保证可靠工作。

■效率高

传统 UPS 是完全在线式，效率约为 90-93%；而 DVR 在运行中只补偿电压跌落部分，效率可达 98% 以上。

■更易维护

传统 UPS 需要保养空滤，清洁端子，注水，测试等；而 DVR 基本不需维护。

■环境适应性好

传统 UPS 对外界环境要求比较高，要求空调等；DVR 工作额定范围 -20 到 40℃，适应性更强。

■外形尺寸更小

传统 UPS 250kW 的系统占地 3.72 平方米；DVR 500kW 系统占地 1 平方米。

■补偿容量更大

传统的 UPS 装置容量一般不超过 400kVA，最大 3MVA，而 DVR 产品容量可以达到 30MVA，补偿的对象容量可以达到 100MVA。

■建设投资低

DVR 装置中无须采用电池作为储能元件，因此其造价要比 UPS 大大降低，而且随着容量的增大，其单位成本可以大大下降，性能价格比远远超过 UPS。

DVR 与传统 UPS 的详细比较如下表所示。

表一 DVR 与 UPS 的比较分析

	UPS	DVR
结构	电池和电力电子逆变单元	电容器和电力电子逆变单元

应用电压	一般在 380V 系统	适应性广,可在 35kV 以下各电压等级系统中应用
装置容量	0~3MVA	0~30MVA
50%电压跌落补偿时间	补偿时间可以达到 15 分钟	可在 1 分钟内补偿三相负荷
建设投资	成本高	成本低,在 500kVA 容量上成本为 UPS 的 50%
维护费用	需保养空滤,清洁端子等,维护成本高	维护成本低
运行效率	92%左右	98%左右
装置占地	占地面积大	占地面积小,大约只有 UPS 的 1/3
环境适应性	对温度等要求较高	环境适应性好

由表中的比较可知,对于配电网中的大容量电压敏感型负荷,应用 DVR 是解决动态电压质量问题的最佳方案。

3 应用说明

(1) DVR 的应用场合

◆ 动态电压调节器可以串联安装在计算中心、服务器与系统电源之间,防止系统电压干扰导致计算机与服务器故障造成数据丢失,提高计算机系统的安全可靠性。

◆ 动态电压调节器可以串联在敏感负荷与系统电源之间,防止系统电压干扰造成敏感负荷工作异常;典型的敏感负荷如半导体工厂,在供电电源与用电负荷之间串联安装 DVR,可以防止系统电压波动、跌落和闪变造成半导体工厂产生大量废品及巨大的经济损失。

◆ 在部分应用场合、尤其对于大容量负荷的动态电压补偿,取代现有的 UPS,动态电压调节器具有良好的动态电压补偿能力,性能价格比高于 UPS,是提高负荷侧电压质量的有效手段。

◆ 小容量单相动态电压调节器可以应用于家庭,起到稳压器的作用,同时成本低,具有广阔的市场。

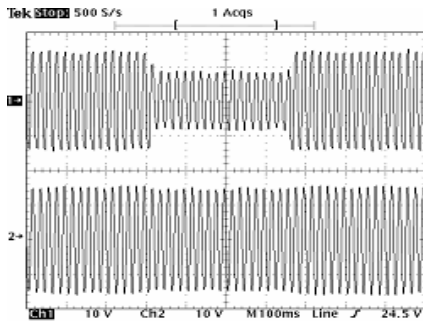
(2) DVR 的补偿效果

(2.1) 补偿动态电压跌落

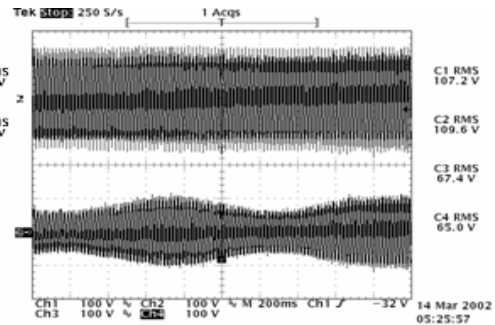
图 2-1 给出了系统发生 40%电压跌落情况下 DVR 装置对动态电压跌落的补偿结果。实验中，将标准电压设定在 110V，示波器 1 路波形为系统侧电压波形，2 路为负载波形。由图中可以看出当系统发生持续时间为十几个周波的电压跌落时，装置维持输出侧电压基本恒定，取得了很好的补偿效果。对于持续稳态电压跌落，也能取得类似的补偿效果。

(2.2) 补偿系统闪变

图 2-2 为 DVR 装置抑制闪变的实验结果，其中通道 3，4 为系统电压，通道 1，2 为装置输出电压。



2-1 电压跌落补偿



2-2 电压闪变补偿

图 2 DVR 装置的补偿效果

(2.3) 谐波补偿效果

表 2 列出了实验中实际测得的各次谐波含量，由表中可见各次谐波均得到了较好的抑制。实验表明采用负载电压反馈控制模式对谐波抑制具有较好的效果。表中列出了 C 相的奇次谐波，数值为百分数。

表 2 DVR 的谐波补偿效果

谐波次数	补偿前	补偿后	谐波次数	补偿前	补偿后
3	4.59	0.83	5	2.99	0.48
7	0.56	0.24	9	0.42	0.39
11	0.23	0.21	13	0.31	0.19
15	0.15	0.12			

(3) DVR 的应用案例

近年来，DVR 在国际市场上得到了广泛的应用，其范围包括了工业生产的各行各业。DVR 在各行业应用的比例如下。

- 半导体工厂 25%
- 造纸厂 10%

- 食品厂 20%
- 塑料厂 10%
- 其他对电能质量敏感企业 35%

近年来，DVR 在国外的应用案例如下表所示：

表 3 近年来 DVR 在国外的应用案例

项目	负荷类型	接入电压	装置容量	备注
Caledonian Paper plc Irvine	造纸厂，最大负荷 47MVA，其中敏感负荷 10MVA	11kV	2*2MVA 补偿度 40%	Siemens，安装于苏格兰。
Bonlac Foods, Ltd. Stanhope, Australia	奶粉制造厂，最大负荷，6MVA，常规负荷 4.5MVA	22kV	2MVA 补偿度 33%	Siemens/ 西屋电气，97 年安装于澳大利亚。
a microprocessor manufacturer	芯片制造厂，负荷容量 22.5MVA	22kV		ABB，2000 年安装于以色列
a microprocessor manufacturer	芯片制造厂，负荷容量 4MVA	22 kV	3MVA 补偿度 75%	ABB，1998 年，安装于新加坡
Salt River Project	芯片制造厂	12.5 kV	3*2MVA	Siemens，
Semiconductor Manufacturer	半导体制造厂，负荷容量为 35	12.47 kV	2*6MVA 补偿度 34%	S&C，安装于美国，该公司已经追加两台订单
Plastic Extrusion Manufacturer	塑胶厂，生产地毯	12.47 kV	2MVA	S&C，安装于美国，
Food Processing Plant	奶粉制造厂，负荷容量 6MVA	22 kV	2MVA 补偿度 33%	S&C，安装于澳大利亚
Paper Mill	造纸厂，负荷容量为 8MVA	11 kV	4MVA 补偿度 50%	S&C，安装于苏格兰

在国内，清华大学柔性输配电系统研究所从 1996 年开始与国际同步开展了动态电压调节器领域的技术研究，经过理论研究、实验装置、工业样机等阶段，目前已达实际应用阶段。现已有多台工业装置在电力部门、信息部门等现场运行，目前运行状况良好。

4 合作方式

面议。

电力线路故障电流分布与地线回流系数计算软件

1 成果简介

电力线路短路电流分布与地线回流系数计算,对于相导线与地线选型具有重要的指导意义。目前,短路电流计算大多采用序分量法,用此方法难以实现复杂地线和导线结构、多种地线混用和不同接地方式以及线路间存在不对称耦合时的电流分布计算。

电力线路故障电流分布与地线回流系数计算软件(PLCCD)基于相分量电路模型,利用双侧消去法进行短路电流分布与地线回流系数的计算。采用相分量法能够较全面地反映复杂线路的实际情况,PLCCD 软件适用于架空线和地下电缆构成的混合线路输变电系统,可以处理地下电缆和架空线附加回流线的线路系统;可以允许线路在任何一个部分发生电气结构的改变,如线路分岔、合并或换位,可以计算带有 OPGW 光缆复合地线的线路,大地电导率和接地电阻分段变化等多种情况的线路。

PLCCD 的输入既可以是线路的电压,也可以是由其它方法得到的短路点的短路电流,计算结果为短路电流在线路中各档的分布与地线的回流系数。该电流分布还可用于感性耦合电磁干扰计算。

通过将 PLCCD 软件与国外一些软件以及文献中计算实例的比较,证明该软件计算结果正确,且计算准确度高、适用范围广、使用灵活方便。

2 应用说明

本软件主要用户为电力线路的设计和规划部门。已经应用于一些实际工程线路的计算,得到了满足工程要求的计算结果。PLCCD 软件居国内领先、国际先进水平,是一个能够满足工程要求的电力线路短路电流分布计算软件,已达到了工程实用化,可以在实际工程部门推广使用。

3 合作方式

面议。

长中短期电力市场预测软件包（TH-PSLF）

1 成果简介

清华大学电机系长期致力于电力系统负荷预测这一领域的研究。在充分了解电力系统负荷预测有关条例的基础上，对现有的较为成熟的预测理论与方法作了系统的总结与分析，适当借鉴其它领域预测工作中的成功经验，将预测方法按各自的适用范围进行了合理的分类研究，并提出了一些新颖的预测方法，在此基础上成功开发了电力系统负荷预测软件包 TH-PSLF。

TH-PSLF 实现了数据管理与科学计算的高度一体化，为电力系统各部门进行详尽的数据分析和高质量的负荷预测提供了灵活的操作平台。TH-PSLF 以 Visual FoxPro 5.0 为开发平台，界面部分及简单计算部分由 VFP 完成，复杂计算部分用 Visual C++ 语言编程实现，这样既可以达到人机界面友好、操作使用方便的目的，又可以快速实现统计分析与预测计算的功能。软件的开发基于目前世界上最流行的、先进的支持软件 Windows 98/NT4/2000，充分发挥了其适用性强、兼容性好的特点，软件的维护与升级非常方便。除大量应用 VFP 有关技术以外，还可以与任何其它基于 Windows 的商用软件交换数据，例如利用 EXCEL 优秀的绘图制表功能进行图表处理。

2 功能模块

（1）管理功能

- 方案管理
- 数据维护
- 报表定义
- 图形定义
- 分析文字报告模板
- 开放的数据接口

（2）分析功能

- 大用户信息管理与分析
- 地方电厂信息管理与分析
- 日负荷特性分析
- 负荷持续曲线
- 增长态势分析

(3) 预测功能

- 年度国民经济及其它相关指标预测
- 年度电力预测
- 年度电量预测
- 月度相关指标预测
- 月度电力预测
- 月度电量预测
- 误差分析

3 技术特点

- 建立了预测方法库

不同地区负荷的发展规律相异，每一种预测方法都代表了一种发展规律。预测方法越多，预测人员的选择余地越大，预测结果越精确。软件建立了预测方法库，提供近 30 种预测方法。预测方法库中既包括了被电力系统预测人员所经常采用的常规方法，也包括了一些比较新颖的预测方法，如灰色系统法、人工神经网络法等。

- 综合预测模型的新理论

预测人员可以结合具体情况灵活选用较为合适的预测方法，多种方法的预测结果互相比较，再进行合理的综合分析，得出最终的预测结果。综合预测模型的新理论和方法是我们的一项重要创新。

- 高度综合性

软件集信息管理与预测计算于一身，可以最大限度地利用电力系统的相关信息资源。各类原始数据及计算结果均可以数据库、报表、曲线图形等多种方式示打印，在一定程度上实现了科学计算的可视化。

- 预测过程可控

负荷预测结果的合理性依赖于预测人员的经验和技巧，因此软件为预测人员干预预测过程提供了可能，这使得预测人员的某些主观因素（如预测经验、分析判断能力等）得到充分的发挥。软件还输出整个预测过程的详细调试信息文件，供预测人员参考。用户对预测项目可自行选择预测策略（预测方法）；可随时查阅历史数据和各种相关数据以及历史数据的统计分析结果，为选择预测方法提供参考依据；可随时指定各种预测方法的计算控制参数（也可以使用系统默认的预测参数），从而控制预测计算的过程。

- 预测结果评价

为了进一步提高预测的精度，软件对多种预测方法所得结果进行全面的

误差分析，对预测结果作出评价，据此形成综合的预测结果，更加贴切地反映负荷的发展规律。值得强调的是，所有误差分析结果均保存于用户指定的信息文件中，可供随时查阅。评价的内容包括：偏差分析、残差分析、回归差分析、相对误差分析、拟合精度分析、灰色误差分析、模型显著性分析、相关指数显著性分析、置信区间分析。

4 应用说明

软件实现了年、月用电需求预测的一体化，既可以进行年度数据预测，也可以以月为单位进行月度数据的预测。因此，软件同时适用于网、省、市各级规划/用电营业等部门。

5 合作方式

面议。

电力规划决策支持系统 GOPT

1 成果简介

电力规划决策支持系统 GOPT 是清华大学研制开发的一个电力系统规划软件平台。该软件从 1985 年开始研究，经过近二十年的探索，在多个地区和部门得到应用（包括三峡电站向华东送电容量最佳方案的研究等重大课题），并不断更新改进，已成为一个符合我国国情、具有较高理论水平和应用价值的电力系统规划决策支持系统，它符合电力系统规划工作的规范化、计算机化和科学化的要求，对提高电力系统规划部门的办公自动化水平及加强决策的科学化和现代化都有重要的意义。

软件的主要功能包括两个方面，一是生产模拟，即针对给定的电源建设方案，模拟其在未来负荷曲线的运行过程，给出经济性可靠性评价指标；二是电源电网优化规划，即自动进行电力系统的扩展规划。

目前，我国电力改革已经进入了新的阶段，电力市场环境下的规划工作面临新的难题。特别是我国近年来的缺电情况，引起人们对电源不足的深刻认识，但是也造成某些地区匆忙上马一些电源项目，导致电源建设的无序性。在电力市场环境下，如何进行电力系统规划？如何评估电源、电网项目的效益？如何评估规划项目在未来市场上的竞争能力、所承担的市场和安全风险？这些都是当前规划工作者面临的重要课题，需要在模拟未来市场环境情况下，对规划项目进行科学的计算。为此应建立仿真市场环

境的电力系统规划模型，并研究和开发相应的计算方法，为电力规划部门提供经济和安全评估的新平台。

在传统生产模拟的基础上，应该建立电力市场环境下成本模拟、价格模拟、竞价模拟的方法，这是对传统生产模拟的新发展。在这种背景下，在原 GOPT 软件平台的基础上，通过引入市场理论进行分析，对软件进行重新设计，提出了研制一种兼顾计划与市场环境的电力规划决策与评估系统的总体方案，并且经过一年多的努力，推出新一代软件系统 GOPT4.0。该软件实现了数据管理与科学计算的高度一体化，为电力系统各部门进行详尽的数据分析和高质量的规划计算提供了灵活的操作平台。

该系统的功能模块有：

(1) 管理功能

- 方案管理
- 数据维护
- 报表定义
- 图形定义
- 开放的数据接口

(2) 分析计算功能

- 负荷曲线修正
- 电源电网一体优化
- 生产模拟

2 技术特点

(1) GOPT 摆脱了以往单一优化的模式，采用优化计算和方案评估相结合的原则，既可以自身提出一种优化方案，也可以对各种电源规划方案进行评估。评估的目的在于：在未来的负荷曲线下，模拟在某一电源和网络规划方案下电力系统的运行，计算出该方案电力电量平衡情况、发电用煤需求量、资金需求量、系统可靠性指标等，从而暴露该方案存在的问题，使决策者能从上述几个方面进行多方案比较，选择较好的方案。因此，评估软件减轻了规划人员的繁重劳动，实现了规划工作的办公自动化和科学化。GOPT 的优化方案是对决策者的一种启发，在众多的方案中自动优化计算出最佳方案，在此基础上稍加修改（根据实际情况），形成既比较经济又符合实际情况的方案。

(2) GOPT 实现了电源与电网的一体优化，避免了以往电源与电网优化相脱节的弱点。只有在电源优化中考虑电网，才能准确地计算各电厂的

输电投资与运行费用，避免窝电现象；只有在电网优化中考虑电源的变动，才能通过改变装机计划达到节省输电投资的目的，由此产生的电网扩建方案是与电源的最佳配合。

(3) GOPT 实现了时序负荷曲线下多区域互联系统生产模拟，避免了传统的在负荷持续曲线下所进行的生产模拟的弱点——不能考虑时间相关的约束条件和系统的调峰，因而能更加准确地模拟未来电力系统的运行，评估电源的结构是否合理，为计算系统的高峰和低谷电价提供依据。

3 应用说明

该软件同时适用于网、省、市各级规划部门、电力设计院。

4 合作方式

面议。

电力市场模拟系统

1 成果简介

电力市场模拟系统(PMSS)是以电力公司及相关发电企业为运作对象，为保证电力市场公平、公正、公开和高效有序的模拟运行，由计算机设备、数据通信设备及相应软件组成的一个集成化开放式系统。该系统是一个模拟实时运行系统，它在电网实时运行工况数据的基础上，按照竞价上网的原则，在满足电网各类约束条件的前提下，以全网购电成本最小为目标，完成机组组合、机组经济分配、系统分时段边际电价的计算和安全校核，并按照市场运行规则对各单位进行考核结算，将发电供电计划、电价、运行考核结果、电量电费结算结果等发布在数据库系统中。

建立电力市场交易(模拟)系统，可以论证适合于我国国情电力市场的方案，其中包含市场的交易规则、结算规则和电价计算体系；进行未来电网的负荷预测；论证电源发展的方案；论证电网发展的方案；进行未来电网的电价预测；后评估电网的经济效益，研究电网运行现存的问题；评估未来电网的经济效益。

该系统主要实现以下功能：

- 短期(日)市场预测系统
- 中长期(月、年)市场预测系统
- 短期(日)电力交易系统

- 中长期（月、年）电力交易系统
- 考核与结算系统
- 电力市场综合管理平台
 - ◇ 发电厂数据申报系统
 - ◇ 发电厂综合查询系统
 - ◇ 交易中心数据管理系统
 - ◇ 交易中心综合查询系统
- 地理图形信息管理系统
- 辅助管理系统
 - ◇ 角色管理系统
 - ◇ 用户管理系统
 - ◇ 数据生成系统

2 应用说明

本系统可用于模拟年期货和短期的电力市场交易。在期货市场中，电网公司公布年或月的用电负荷需求曲线，各发电商上报不同季节不同时段发电价格曲线。电网公司则根据发电商的报价，利用机组检修计划安排模块首先安排各机组大修与小修的时间。然后，电网公司将按周组织竞价上网，利用年和月电力交易模块优化出工作日和休息日的各机组的最佳出力。如果发电商和电网公司各方没有争议，则确定合同电量、合同电价和各机组不同季节不同时段合同出力。在月计划滚动中，机组出力和发电量在年合同电量的指导下，根据年合同完成的情况和市场的最新变化，调整各机组在各月的合同电量和合同出力。在短期电力市场中，电网公司首先公布周或日的用电负荷需求曲线，各发电商报价。电网公司利用短期电力交易模块进行优化计算，在优先满足各机组月合同出力的基础上，进一步优化计算出适应当前负荷曲线、满足电网安全稳定运行和机组可用状态的各发电机组的出力。

本软件适用于网、省各级电力局作为交易系统，也可以在各设计院作为模拟系统。

3 合作方式

面议。

短期电力市场预测软件包(TH-STLF)

1 成果简介

短期负荷预测是负荷预测的重要组成部分。多年以来，国内外学者提出了多种短期负荷预测的方法，如多元回归、谱分析、ARMA 模型、人工神经网络方法(ANN)等。总结起来，主要可以分为以下几类：(1)仅利用负荷自身发展规律的方法，如 ARMA 模型等。(2)负荷发展规律与气象因素结合的方法：如 ANN 方法。(3)其它方法。

第一类方法仅仅对历史负荷数据进行统计、分析、运算，而对于其它的相关信息特别是对短期负荷影响较大的气象信息没有进行考虑，使正常日的预测精度无法进一步提高，而特殊气象日更会造成误差过大。这是因为仅靠历史数据是不能很好反映它未来的发展趋势的，气象因素对短期负荷的影响很大而未能在算法中体现。

第二类方法考虑了气象因素，一般采用经验方法利用粗略的气象情况进行补偿，或者作为相关元进入神经网络模型计算，但由于采用的信息太少和相关方式较弱，结果有时并不理想。此外，该类方法一般不涉及气象以外的因素，并且计及气象因素的方式也不灵活。

事实上，负荷预测考虑的相关因素绝不仅仅是气象因素，而应该包括：日分类(正常日、国庆、春节等)，星期类型(周一~周日)，日期差(两日之间相距的天数)，日天气类型(晴、阴等)，日最高温度、日平均温度、日最低温度，日降雨量，湿度，风速等等。随着科学技术的发展，有可能新增加其他相关因素。

TH-STLF 中采用一种规范化的策略，可以直接考虑各种相关因素(不仅是气象因素)。应用聚类分析的基本原理，在不同日之间特征量的差异度、相似度概念的基础上，设计了一种规范化的映射数据库。该策略既可以指导预测人员构造新的短期负荷预测方法，也可以对各种现有的预测方法进行改造，使之计及各种因素的影响。

功能模块：

- 映射因素定义
- 映射数据库修改
- 模型参数修改
- 预测计算
- 综合模型

- 误差分析
- 曲线对比

2 技术特点

系统在理论和实际应用方面具有以下特点：

● 短期负荷预测新策略

为了更好地进行短期负荷预测的相关因素分析，提出了一种规范化的可以直接考虑各种相关因素的短期负荷预测新策略。这种策略不仅可以考虑已经被详细研究过的气象因素，而且可以同时考虑一般性的分类指标，例如工作日/休息日，正常日/节假日等等。设计了一个规范化的相关因素映射数据库，从而反映不同影响因素在映射函数上的差异。根据模式识别的基本原理，应用聚类分析方法描述由于相关因素的不同而导致的待预测日与历史日之间的差异程度。

● 综合预测模型

人们已经为短期负荷预测提出了许多多的方法与模型，在实际预测时，对某个固定地区，可以使用这些预测方法得到不同的预测结果。鉴于这种情况，基于对这些不同预测结果的分析，提出了以得到一个唯一的综合预测曲线为目标的优化模型。根据模式识别的基本原理，这个新模型以待预测日与历史日之间相关因素的最佳匹配为原则。通过虚拟预测结果与实际负荷曲线数据的误差平方和的最小化，可以得到综合模型中各种单一预测结果所占的权重值大小。通过实际算例研究表明，综合模型的预测结果优于各种单一方法的预测结果。

● 历史数据预处理

为了在预测过程中使用的历史数据能够齐全，在预测前对历史数据形成定点序列，也就是从历史数据库中抽取出一一些数据形成 24 点或其他点数形式的序列。对于数据缺少，提供了一定的宽裕度的模糊识别序列的方法，如果模糊识别序列的方法仍然不能够形成需要的序列，也提供了人工输入形成序列的补充方式。

● 分析计算快速

软件的界面、计算部分均完全使用 Visual C++ 开发，界面友好，计算速度快。

● 误差分析功能

软件对预测结果进行误差特性分析，为调整预测策略提供了一个定量的检验工具。

3 应用说明

软件适用于网、省、市各级调度部门。

4 合作方式

面议。

电力规划数据库与信息系统

1 成果简介

电力系统需要处理许多庞杂的数据。以往我们的专业人员为各自的具体应用设计了许多格式各异的数据存储方式，并据此建立起了各自的应用，形成了一系列的信息孤岛。从工作方式上看，这种工作方法还是一种手工作坊式的数据操作，远远不能满足日益发展的应用需求。我们迫切需要建立一个集图形、数据库、信息管理、分析计算、辅助规划、数据查询为一体的电力规划信息管理系统，将电力系统规划所需要处理的各种数据进行归类，设计合理的数据结构，达到高度的数据共享，为电力规划、管理、决策提供先进工具。

2 系统特点

(1) 建立一个集图形、数据库、信息管理、分析计算、辅助规划、数据查询为一体的电力规划信息管理系统，将电力系统规划所需要处理的各种数据进行归类，设计合理的数据结构，达到高度的数据共享，并为电力规划、管理、决策提供先进手段。

(2) 依据业务流程及所处理的信息，设计合理的数据库结构，提高数据共享的程度，最大限度地减小数据的冗余，为各部门的具体应用提供可靠性高、一致性好的原始数据。

(3) 提供灵活的数据接口。电力规划数据库可以与现有的各种电力系统分析软件进行方便快捷的接口，为计算软件提供所需要的原始数据，使各种计算软件无须自行准备数据。

(4) 建立以地理信息系统为基础的可视化用户界面，拥有充分的图形比例级别以供连续调用，并具有流行图形支持平台的接口。

(5) 采用商用数据库作为平台，可以实现电力系统中大量的信息交换，支持三层结构开发方式。

(6) 以网络为基础，支持多用户并行协同工作，提供 workflow 模式。提

供远程访问功能，被授权的人员可以在联网的任何一台工作计算机上维护有关的数据信息。可以利用浏览器通过 Internet 对数据库进行查询。

3 合作方式

面议。

太阳能光伏发电、照明系统

1 成果简介

在全球性能源紧张的新形势下，开发太阳能既经济又环保，是缓解能源紧张的新途径。我国政府一直把研究开发太阳能和可再生能源技术列入国家科技攻关计划，大大推动了我国太阳能和可再生能源技术和产业的发展。中国太阳能光伏技术开始于 20 世纪 70 年代，开始时主要用于空间技术，而后逐渐扩大到地面并形成了中国的光伏产业。

从太阳能产品的应用范围来讲，在太阳能发电的基础上，可以开发出适用于各种场所的产品。

2 应用说明

我们目前拥有的太阳能实用产品技术主要包括：

（一）250W 的太阳能路灯

主要技术特点是：（1）使用了高压钠灯，使得路灯具有低损耗高照度的特性；（2）采用了光伏阵列最大功率点跟踪技术，有效提高了光电转换效率；（3）蓄电池充放电具有能量管理能力，降低了充放电损耗，提高了电池的使用寿命；（4）采用了数字智能变流控制技术，能够灵活控制太阳能路灯的照明时间和亮度。

（二）太阳能草坪灯

采用数字控制技术的太阳能草坪、庭院景观灯照明控制器，可实现白天太阳能向蓄电池充电，夜间点亮草坪灯或庭院灯，提供景观照明。

（三）小型太阳能户用发电系统

太阳能光伏发电户用系统包括太阳能电池、储能与能量管理系统、逆变供电系统，实现对孤立的无电户的供电，可广泛应用于村落、农户、移动电话中继、电视差转、高速公路信号牌等。

（四）太阳能光伏电站

太阳能光伏电站由太阳能电池、光伏阵列最大功率点跟踪系统、储

能与能量管理系统、逆变供电系统，实现对孤立的无电村落、基地的供电，可广泛应用于西部无电乡、村，以及无电海岛的供电。

（五）太阳能光电回廊或凉亭

太阳能光电回廊或凉亭可以在白天将太阳能转换为电能，输入电网或储存在蓄电池中，在晚上向路灯等公用设施提供电力，是一种结合了景观和实用效果于一身的小型太阳能电站，同时还可以起到晴天遮阳，雨天挡雨的作用。

（六）太阳能光电长廊、喷泉

该技术将喷泉景观与太阳能光伏发电技术相结合，利用太阳能所发的电能向喷泉供应工作需要的电力，将太阳能电池板装置在休闲观景的长廊座椅上方，在吸收太阳能同时，还起到了遮阳与景观的作用，是集科技与景观于一身的高科技产品。

（七）太阳能光电候车亭、灯箱

该技术通过在候车亭顶棚铺设太阳能电池板，形成一个独立的供电系统，可以为公用电话提供电力，并在夜间点亮候车亭中的广告灯箱。

3 效益分析

这些太阳能产品，从大型社会公共设施到小型的民用产品，市场范围广阔，且在未来具有无限的开发前景。可以说，凡是需要能源的地方，都是太阳能设备可以发挥能量的场合。特别是，我国的太阳能产品以及市场与日本及欧美国家相比还处于一个起步的阶段，具有着非常广阔的市场前景与增长潜力。

4 合作方式

面议。

电气设备在线监测系统

1 成果简介

在线监测是推行状态维修的基础，研究各种类型的电气设备在线监测系统并将其投入实际应用，可及时发现故障隐患，提出预警，提高电力系统的运行水平。

我研究所较早开展电气设备在线监测系统的研究工作，通过与大区、省级电力部门以及其他企业的横向科研合作项目，推进在线监测技术的发展，有重要的工程实践价值。

主要研究内容：

- .. 传感技术,电磁兼容技术,干扰抑制技术
- .. 便携式监测装置
- .. 分布式监测系统
- .. 网络通信及与 MIS 互联技术

主要研究成果：

- .. 局部放电在线监测系统

具有硬件、软件干扰抑制措施,可监测放电量,提取放电指纹。已有 7 套研制的变压器和发电机放电监测系统投入运行。作为国家自然科学基金重点项目的子课题,安装于赤峰元宝山发电厂 600MW 机组的监测系统于 2001 年 5 月通过验收。专家组评价该系统“经过长期连续运行,工作稳定”;达到了预定的分辨率指标:变压器-3000pC;发电机-10000pC”。

- .. 电容型设备在线监测系统

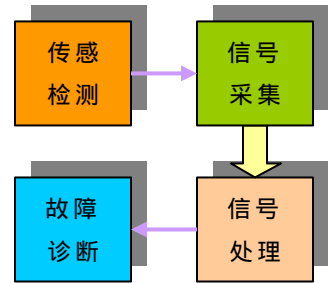
可监测介质损耗、绝缘电流及电容量。将我们多年研制放电监测系统的技术和经验应用于电容型设备监测系统,采用与众不同的硬件系统和数据处理方法,研制的电容型设备在线监测系统已在辽宁盘锦某变电站投入运行,较好地解决了测量数据的稳定性问题。

- .. 发电机组综合监测系统

由电机系等单位合作开发,已在福建某水电厂投入试运行,具有远程诊断功能,达到国际先进水平。电气监测内容包括:发电机运行参数、P-Q 图静态稳定、气隙磁场强度、气隙间距、轴电压、发电机温度、转子绝缘、定子绕组局部放电等。其中气隙磁场强度、气隙间距、轴电压和转子绝缘等参数的在线监测,国内尚无先例。

2 合作方式

面议。



数字控制不停电电源(UPS)

1 成果简介

不间断电源 (Uninterruptible Power Supply)是在交流电网(市电)输入发生异常或中断时,仍可以继续向负载供电,并能保证供电质量的供电装置,简称 UPS。不间断电源依据其向负载提供的是交流还是直流可分为两

大类型，即直流不间断电源和交流不间断电源，但习惯上人们总是将交流不间断电源称为 UPS。

按照结构和工作方式习惯上人们将 UPS 分为在线式、后备式和交互式三类。在线式 UPS 工作时，无论市电是否正常，都完全由逆变器向负载供电。后备式 UPS 仅作为市电异常时的后备电源，而在正常情况下，仍由市电向负载供电。线路交互式 UPS 与市电交互作用为负载供电。

近年来，国内不少科研单位对 UPS 开展了广泛深入的研究。研究方向主要集中在 UPS 的数字控制和并联运行上，取得了一些丰硕的成果。

2 技术指标

清华大学对于 UPS 的数字控制尤其是逆变器的数字控制进行了深入的研究，采用了高性能的 TMS320LF2407DSP 芯片实现数字控制。图 1 所示为数字控制 UPS 逆变器部分的电路图，其中虚框中为控制部分，产生门极驱动信号。

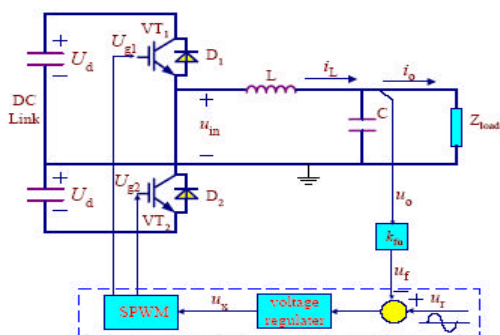


图 1 UPS 逆变器电路图

系统采用 PID 进行负反馈闭环控制。为了改善性能引入了前馈环节，考虑到死区时间的影响采取了补偿措施。当负载不是纯电阻时将输出电流作为反馈量加以补偿。

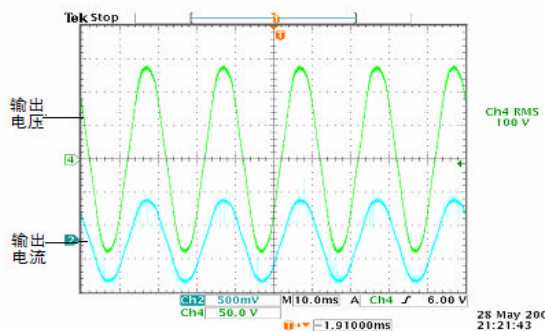


图 2 加电阻负载时输出的电压电流波形

图 2 为加电阻负载时输出的电压电流波形，此时总谐波失真度 THD=3%，性能良好。

图 3 和图 4 分别为带整流负载，加电流补偿前后两种情况。可见电流补偿减小了 THD，改善了输出波形。

实验表明：数字 PID 法是一种实现 UPS 逆变器控制的简便有效的方法；死区补偿能够降低稳态输出电压的总谐波失真度（THD）；输出电流补偿能够明显改善 UPS 带整流负载时的输出波形。

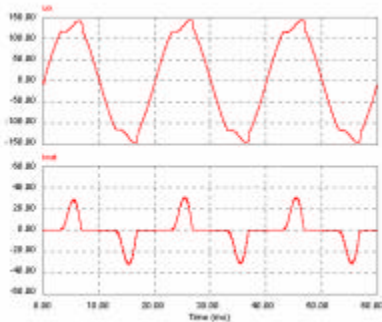


图 3 带整流负载 未加电流补偿
THD=7.9%

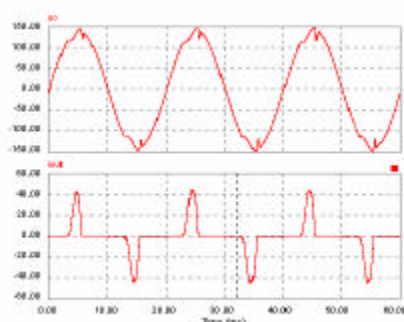


图 4 带整流负载 加电流补偿
THD=4.3%

清华大学还提出了一种新型分布式控制方法来实现单相数字模块化 UPS 的并联运行。

传统的 UPS 并联控制方法(主要指主从式方法)具有较好的均流效果，但通常需要公共的控制电路，如果这部分失效，整个并联系统将无法工作。所以用这种方法实现的并联系统并不具备真正的冗余性，可靠性较低。无互连线式控制方法在各模块间除负载线外没有电气连接，实现了真正的冗余，但是其控制算法复杂，均流的动态性能较差。采用分布式控制方法实现数字 UPS 模块的并联，均流控制和输出电压同步控制分散于各个并联的 UPS 模块中，各个并联的 UPS 模块完全相同，只通过两条低通的互连线交流信息，实现了真正的冗余。两条互连线中，一条为电压基准相位线，各 UPS 模块正弦电压基准的频率和相位与电压基准相位线上方波的频率和相位保持一致，从而实现输出电压的同步；另一条为平均输出电流线，为用平均电流法实现均流提供信息。图 5 和图 6 分别为其中一台 UPS 投入并联和从系统中切除时的输出电压电流波形。

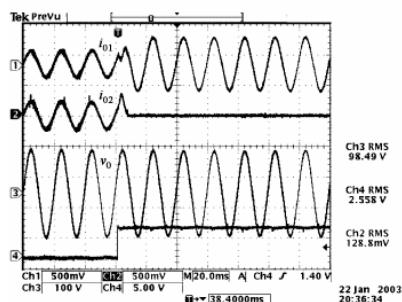
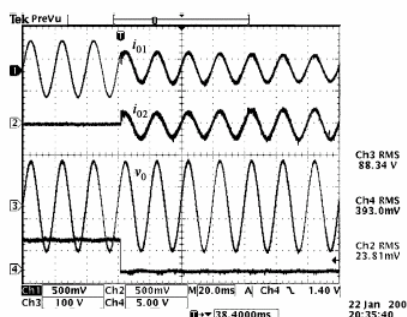


图 5 第二台 UPS 投入并联运行 图 6 第二台 UPS 从并联通系统切除

实验结果表明，该并联控制方法在 UPS 间仅通过两条线互连，结构简单，易于模块化；采用低通互连线，系统抗干扰性好；分布式控制，各并联 UPS 完全相同，具有真正的冗余性；均流控制动态响应快，在动态和稳态下，均有较好的均流效果，输出电压波形仍为严格正弦，未发生畸变。

3 应用说明

UPS 在 IT 产业、银行、邮电等有广阔的市场。

4 效益分析

目前中国 UPS 市场以销售量衡量，后备式占有大部分市场份额；以销售额衡量，中小功率上升较快，在未来的几年，中国的 UPS 市场还有较大的发展潜力。2003 年实现销售 91 万台，销售额 21 亿元。

目前中国 UPS 市场的竞争异常激烈，有 50 多个国内和国外公司在争夺中国市场。知名的包括美国 APC、山特、梅兰日兰、艾默生、台达、上海复华、Powerware（爱克赛）、科华、科士达等。

中小功率市场上的主要品牌有山特、山顿、科士达等，大功率产品市场主要有爱克赛、梅兰日兰、IMV-实达及 APC 等厂商。但是由于近年来各 UPS 厂商不断完善自己的生产线，各 UPS 厂商已不能严格地划分为大功率或小功率厂商，各 UPS 厂商都在向全系列方向发展。

未来几年，中国宏观经济的变好、国家信息化建设的深入、奥运配套工程的进行，都将给中国 UPS 市场的发展提供空间。在未来的几年中，仍可维持 5% 以上的增长。

5 合作方式

面议。

长中短期能源优化调度管理系统

1 成果简介

1989 年受能源部委托，开发了适合我国国情的“长中短期能源优化调度管理系统”。首次同时考虑了负荷、机组停运及径流三者的随机性的年、季优化调度系统，94 年获电力部科技进步二等奖，在数个省网推广。

（一）年、月、日、水电、火电联合优化调度系统

1. 可模拟各种产权的电厂及水电(梯级)、火电、抽水蓄能电厂的年月日优化调度系统。
2. 用于互联网优化运行，有联络线约束的大型水火电互联系统优化调度系统。
3. 电网调峰效益、抽水蓄能效益、大型水电厂的运行方式的分析研究用软件。
4. 年、月发电计划及检修计划统一优化软件包。
5. 详细考虑机组运行特性的开停机计划。
6. 日输变电设备检修批答系统。

（二）在线安全经济调度系统

1. 考虑各种机组的调节速度约束及机组起停的在线安全经济调度系统，可与 AGC 接口。
2. 与在线负荷预测和日交易计划决策系统相连，构成一体化系统在线调度系统。

（三）厂内经济调度系统

1. 火电厂厂内最优运行决策及效益分析系统。
2. 梯级水电厂最优调度系统，考虑水头损失的机组最优起停及经济功率分配系统（在线及离线）。
3. 抽水蓄能电厂最优运行及效益分析系统。

2 应用说明

适应于全国各省级调度机构及全国各水电厂、火电厂。目前该系统已应用于多家单位，并多次获得奖项。

3 合作方式

面议。

发电公司报价辅助决策解决方案

1 成果简介

市场改革促使电力运营由垂直垄断方式向开放竞争方式变化。发电公司面对一个新的经营环境，体现的特点有：(1) 发电公司成为独立经营、独立核算的市场主体；(2) 发电公司处于一个机遇与挑战并存的竞争环境中；(3) 发电公司的经营以效益最大化为核心；(4) 企业发展靠市场驱动；(5) 信息将变得更为重要。报价辅助决策系统的建立在对这些变化的细致分析和准确把握基础上，使发电公司能够从容应对电力市场改革。

本系统通过对市场、对手、自身的分析，结合管理决策的先进思想，给出改进经营管理的具体方案，提供优化的决策建议，从而在整体上提升发电公司的竞争力。

本系统将协助决策者完成：

- 成本监控中心：分析发电公司成本组成，提出降低成本的建议。
- 市场预警中心：分析市场风险情况，避免不必要的经济损失。
- 报价参谋总部：提出兼顾利润与风险的报价策略，评估报价方案好坏。
- 优化调度中心：控制机组以最优工况运行，有效降低运行成本。
- 办公自动化系统：自动制作报表，提升工作效率和管理水平。

2 技术指标

- 系统采用Browser/Server体系结构。
- 支持SQL-SERVER、Oracle等多种商用数据库。
- 基于Windows NT Server 4.0/Windows 2000 Server网络操作系统平台。
- 系统配置灵活，支持单网络、多网络以及单服务器、多服务器等。
- 基于TCP/IP、Internet/Intranet网络技术。
- 采用C++ Builder、Java、ASP等通用、高效开发平台。
- 采用COM/DCOM技术，快速开发高性能应用系统。
- 安全的权限设置。
- 基于WEB的信息发布。

3 性能特点

■系统充分考虑了电力市场实际，既可用于单一参与竞价的电厂，也可用于拥有多个参与竞价电厂的发电公司。

■开放式系统，具有灵活性、可扩展性，对市场规则有极好的适应性，

不加修改或经少量改动即可满足市场改革逐步完善发展的需要。

■系统引入现代管理决策科学和计算机技术的最新成果，模型及算法都具有创新性，包括非线性网络流算法、考虑机会损失的决策模型、竞争性决策（博弈决策）模型。

■系统免维护，正常安装启动后，可持续工作，一些重要的功能模块可通过远方监视掌握其运行状况。

4 效益分析

该系统已在华东某发电公司（总装机 1915MW，市场中现货竞价电量占总电量约 10%）投入使用近三年。三年来系统运行稳定，达到了各项设计要求。以 2002 年 11～12 月连续数日该发电公司报价情况为参考，现货利润情况汇总分析如下：

发电公司现货利润情况汇总

日期	人工报价现货利润（万元）	优化报价现货利润（万元）	利润增加（万元）	增加比率（%）
2002-11-12	37.769	46.533	8.764	23.20
2002-11-13	40.463	41.604	1.141	2.82
2002-11-14	38.043	42.163	4.12	10.83
2002-12-09	66.488	67.422	0.934	1.41
平 均	/	/	4.6	10.06

可见，通过系统的使用，每天约为公司增加现货利润 4.6 万元，以一年 240 个竞价日来算，全年为公司增加利润： $240 \times 4.6 = 1104$ 万元，数目相当可观，再通过使用系统的成本分析和经济运行功能，这个数字还会进一步提高。

5 合作方式

面议。

考虑气象因素的用电负荷预测软件包

1 成果简介

1、数据挖掘技术，建立了可综合考虑各种非负荷因素（主要是各种气象因素）与用电负荷之间关系的数学模型，该模型具有以下特点：

（1）可处理海量数据

随着数据库和信息技术的不断进步，我们所能应用于负荷预测的信息是海量的。包括 SCADA 系统提供的负荷信息、气象部门提供的各种气象信息及其它影响负荷的相关信息等。对于负荷预测来说，这些信息具有信息量大、影响因素复杂等特点。这些海量的信息一方面给精确预测负荷提供了可能，另一方面也增加了负荷预测的难度和所需时间。我们利用了数据挖掘技术，从海量数据中挖掘有价值的信息，有效地提高了负荷预测精度。

（2）考虑的各种非负荷因素可以改变

一般来说，在项目初期，拥有数据较少（如只有每天四点的温度数据），随着项目展开、运行，拥有了越来越多的其他信息（如有每天八点的温度数据、降雨量信息等等）。也就是说，在项目运行过程中，拥有的信息是变化的，这就要求数学模型具有可扩展性。

我们提出的模型可以灵活地满足这一要求。在条件不具备时，可以仅考虑较少的因素（如对华东地区，在条件不具备时，可先只利用华东五省中上海、浙江的温度）；当条件逐渐具备时，模型可以自动考虑。

由于具备这一特点，模型应用变得简单易行。

2、开发了相应的负荷建模软件。

（1）利用该软件，可对拥有的数据进行仔细分析，找出用电负荷与各种非负荷因素之间关系（哪种非负荷因素对负荷影响最大？哪些基本没有影响？各种非负荷因素是如何影响负荷的？），并存放到相应的知识库文件中。

（2）在系统运行过程中，非负荷因素对用电负荷影响可能会慢慢发生变化，这时可利用负荷建模软件和新积累的数据，对知识库文件进行更新，以反映非负荷因素对用电负荷的最新影响。

3、完善的负荷预测数据库

包括各区历史负荷库、各区申报的预测负荷库、系统预测负荷库、负荷预测结果考核数据库、各气象观测点的预测气象数据库与实际气象数据库、

用户及权限管理数据库、其他数据库（包括接口库、历史事件库等等）。

4、负荷分析软件

基于 Java3D 技术，提供对历史负荷和气象因素的多样、灵活、直观的浏览分析功能，便于用户分析负荷变化趋势，以及用电负荷和其他非负荷因素之间的关系等等。

5、新的较好计及气象因素的短期负荷预测方法——决策树技术和时间序列相结合的短期负荷预测方法

决策树技术是数据挖掘中的一个重要分支，可用于解决高维数据的分类问题，具有分类速度快，精度高、生成的模式简单等优点。将决策树技术应用于短期负荷预测中，可以较好计及在各种模式下，各种非负荷因素对用电负荷的影响，并根据这些因素，对负荷预测结果进行修正。

时间序列分析是经典的短期负荷预测技术，可较好的反映负荷的周期性（日周期、周周期）。

将决策树技术与时间序列分析技术相结合，可以有效地计及气象等相关因素对负荷的影响，并且反映了负荷的时间特性，从而得到了一种新的负荷预测方法。

在短期负荷过程中，有各种特殊因素需要考虑，因此，还采用了模糊数学、支持向量机（统计学习理论）、小波分析等技术。

6、一体化的短期负荷预测软件包

在以上研究基础上，开发了一体化的短期负荷预测软件包，该软件包具有以下特点：

（1）可进行超短期负荷预测、日前负荷预测与周负荷预测（每十五分钟一个点）。

（2）提供负荷预测考核功能，可按用户要求，自动形成各种格式的报表。

（3）外部数据的读入智能、稳定、灵活。负荷预测本身依赖于大量的历史数据（如 EMS 数据库中的历史负荷数据，气象数据库中的历史气象数据及预测气象数据），这些数据来源不一，存储方式差别较大（Oracle、SqlServer、数据文件等）。数据的读入工作应自动进行，且能自动处理数据读入中的常见错误（如网络连接断开、数据部分缺失等），保证整个负荷预测系统的稳定性和易用性。

（4）基于 B/S 结构，应用程序在浏览器上运行，客户端零安装、零维护。

(5) 强安全性。有 IP 地址校验功能，只有用户名、密码和 IP 地址都符合的用户才能使用本系统。

(6) 预测结果便于修改，以体现用户的专家知识。再复杂的算法，也不可能将所有情况全部考虑进去，而调度人员多年的实际运行经验，正好可以弥补这些方面的不足。为此，我们利用 Java Applet 技术开发了易用的负荷结果修改界面，吸收了众多实际运行人员对于负荷修改的要求和经验，使得负荷结果修改工作简单高效。

(7) 可进行多日连续的负荷预测。在电力系统负荷预测中，有时需要对连续多日负荷进行预测，如周五需要预测连续三日的数据、五一长假等。此时系统会自动采用已预测的结果作为历史数据，进行下一日的预测。

2 技术指标

本系统以 windows 2000 Sever 为软件平台，利用 Microsoft ASP.NET 开发 Web 界面，采用 Java Applet 技术实现对于负荷数据的图形化显示。采用微软新一代开发语言 C#.Net 开发核心算法代码，采用 Microsoft SQL Server 2000 作为系统数据库存放负荷及气象等负荷相关因素数据。

3 应用说明

我们研制开发本系统已有十余年的经验，所开发的系统已成功地应用于内蒙、河南、湖北、上海等多个省级电网。

4 合作方式

面议。

时变无功优化

1 成果简介

我们从八十年代起即对无功优化进行研究，至今已有二十多年。其中，1984 年即为华北电网开发了“无功优化调度及补偿软件”，鉴定认为居国内领先水平。

上世纪 90 年代末起致力于无功优化方面的研究，并承担了国家自然科学基金——“高中压配电网电压/无功控制的模糊动态优化理论与算法”，在此方面进行了卓有成效的工作。提出时变无功优化的概念，并研究出相应的算法和软件。在我们的研究中，既考虑了电力系统中负荷的不确定性，又考虑了电力系统的实际控制约束，如控制设备不能频繁操作，要有操作

次数限制，需要研究多阶段，多目标，多约束的优化规划问题，是一个具有很大难度的应用基础研究课题。已在绥化配电网推广实施该项成果。经检索，国内外还没有高中压配电系统的时变无功优化的研究与应用的报道。

2 技术特点

2.1 开发环境

时变无功优化软件是一个可以在线运行也可以离线独立运行的系统。其主体模块用 C++ 开发，可以在 Windows 操作系统下运行。

2.2 输入输出接口

时变优化模块需要三方面的数据：一是高精度的日系统负荷预报和母线负荷预报数据，二是电网结构参数，三是 SCADA 提供的电网当前状态数据。所以要想取得这些数据，必须在当地电力部门已有的 SCADA 系统和 PAS 系统上开发合适的接口模块，为时变优化提供数据支持。

优化方案文件中以未来一天中某时刻如何操作某一设备的形式给出明确的控制方案，此文件可以作为调度人员的参考，在充分证明其有效性的情况下，也可以直接被 SCADA 中的遥控遥调读取，放入任务列表中等待操作。数据接口对于输出文件的处理主要是把优化方案的文件内容通过报文发送到 SCADA 电网控制系统。

3 应用说明

(1) 优化计算：开始进行时变优化计算，计算的时候程序不再响应其它的操作请求。

(2) 查看优化方案：查看优化计算结果方案文件，包括各个可控设备在各个时段的动作方案。

(3) 查看电压曲线：用曲线的形式表现优化前后系统最大电压和最小电压随时间变化的情况。

(4) 优化结果的仿真效果：通过仿真和统计得到系统网

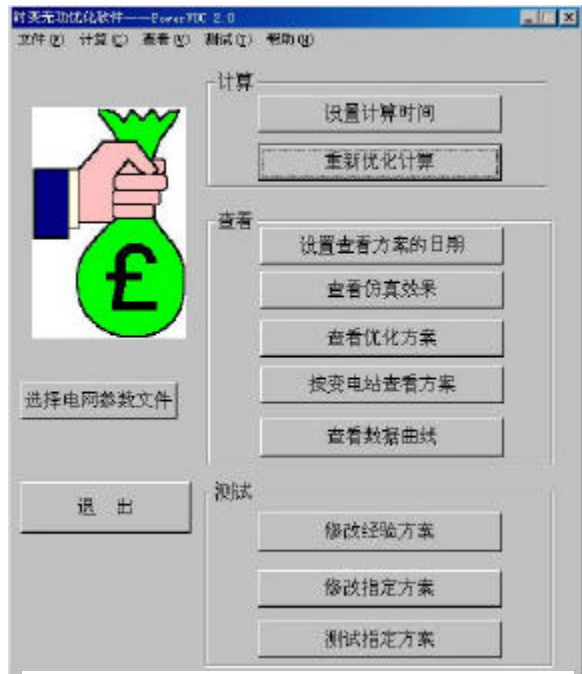


图 1 软件包的主界面

损和电压变化的情况，并且可以把这些情况和没有优化之前进行比较。

（5）对指定方案的仿真计算：可以针对用户指定的调度方案的实施效果仿真计算，并与时变优化的效果进行比较。

图 2 是优化前后日网损曲线的对比，上部曲线是优化前的网损曲线，下部曲线是优化后的网损曲线。可见，高峰负荷时段网损的下降量远大于其它时段，这与我们的预期是一致的。两曲线间的差值累积对应的是电能损耗的下降量，显示了无功优化的经济效益。

图 3 是优化前后电压最大最小值曲线。最上条和最下条分别是优化前的最大、最小电压曲线，中间两条分别是优化后的最大、最小电压曲线。一般来讲，优化后电压最大值和最小值之差减小，电压曲线变得平稳，显示出无功优化的安全效益。

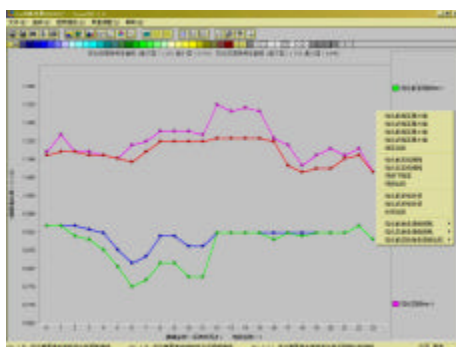


图 2 优化前后日网损曲线

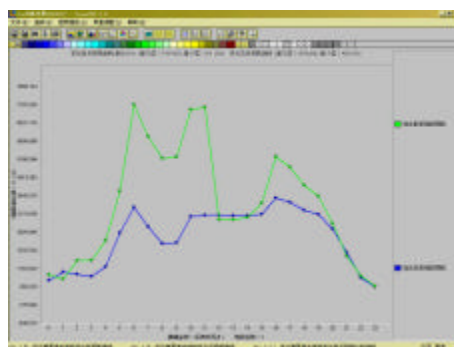


图 3 优化前后电压最大最小值

4 合作方式
面议。

电力电子设备的数字化控制装置

1 成果简介

为了满足电力电子设备快速响应、多路监测、多路控制和可靠运行的需要，我们基于两片 DSP 和一片 FPGA 设计了一款全数字化控制装置，如图 1 所示。

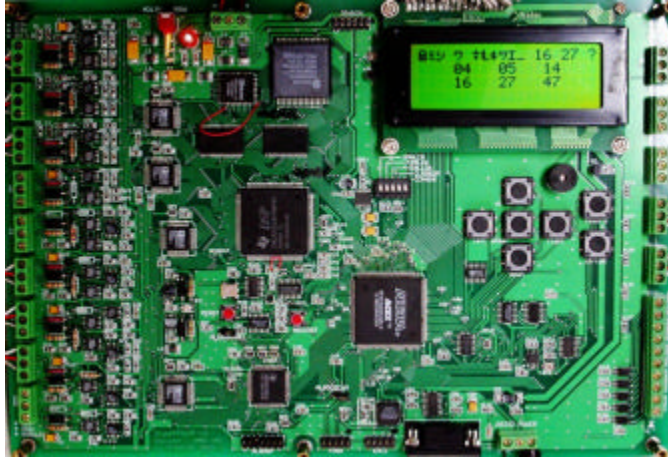


图1 双 DSP + FPGA 的数字化控制装置

2 技术指标

该电路板的性能参数如下：

1. 由两片 DSP 和一片 FPGA 构成；
2. DSP 芯片 TMS320C32 作为主控芯片，负责系统监视和各项控制操作；
3. 主控芯片外围：12 路 14 位 AD 输入，采样频率由 TMS320C32 定时器控制，可以达到 100ksps；64k × 32 位 SRAM 用于程序和数据计算；256k × 8 位 FLASH 实现程序的存储；128k × 8 位 NVSRAM 实现控制参数存储、操作和故障日志记录、录波；
4. DSP 芯片 TMS320F206 作为控制芯片，负责实时控制算法的实现；该芯片具有 32k × 16 位片上 FLASH，用于存储程序；4k × 16 位片上 SRAM，用于控制程序中的动态变量和数据空间；
5. 控制芯片 TMS320F206 的外围具有 4 路 14 位 AD 输入，用于为控制算法采样信号，采样频率由 FPGA 控制，可以实现同步采样；
6. FPGA 作为控制接口，负责按键输入、液晶显示驱动、数字量输入输出、电力电子器件的脉冲发生、通讯口；FPGA 还可以实现同步锁相，从而使控制芯片 TMS320F206 的外围 AD 实现同步采样，进而完成同步控制，提高控制性能；
7. 数字量输入输出具有光电隔离；脉冲发生输出具有独立的故障检测和保护电路；
8. 6 个按键和 40 × 4 的字符液晶可以显示测量数据、控制状态、以及实现现场的操作菜单界面；

9. 上位机可以通过通讯口访问测量数据或者进行各项控制操作；
10. 特殊操作可以通过拨码开关锁定；
11. 两片 DSP 与 FPGA 通过总线联系，并构成相互的监视链；
12. 5V 单电源系统，功耗低；具有电源监视，电压跌落至 4.5 伏以下，控制系统进入掉电保护状态。

3 应用说明

上述装置具有数字化、集成度高、可靠性强、控制速度快、精度高的特点。它作为通用的控制平台，可以应用于无功补偿、柔性输配电、电机控制、有源电力滤波等多种电力电子设备。由于该装置将控制、保护和脉冲发生结合为一体，并完全采用数字化设计，所以在工程设计中大大减少了辅助电路，并具有较强的设计灵活性。将该控制装置作为核心，再配合工控机或可编程控制器作为上位机，可以构成低成本、高性能的电力控制成套装置，并完成各种高压大功率电力电子应用工程。

4 合作方式

面议。

直流有源电力滤波技术

1 成果简介

高压直流输电由于其诸多优势，在我国的电网建设工程中占据重要的地位。直流输电中的交流谐波和直流纹波必须合理地抑制，以提高电能质量和输电效率。有源电力滤波器以其更好的滤波性能和更低的建设费用等优点成为发展方向。虽然国内外的一些直流输电系统已经采用直流有源滤波器，但即使那些非常有名的国际输变电大公司，如西门子、ABB，其技术都还不成熟。而且，由于该产品被国外公司垄断，其价格也十分昂贵。在原国家计委的支持下，我们对直流有源电力滤波器和可调电抗器等直流输电领域中的一些关键问题进行了专项研究，取得了一些基础性的研究成果。

而且，我们已经为并联型直流有源电力滤波器提出了完整的控制策略，完成了该设备的初步设计方案。我们还在实验室制作了样机，并在实验中取得了良好的纹波抑制效果。实验系统结构如图 2 所示，控制器采用图 1 所示的数字化控制板。

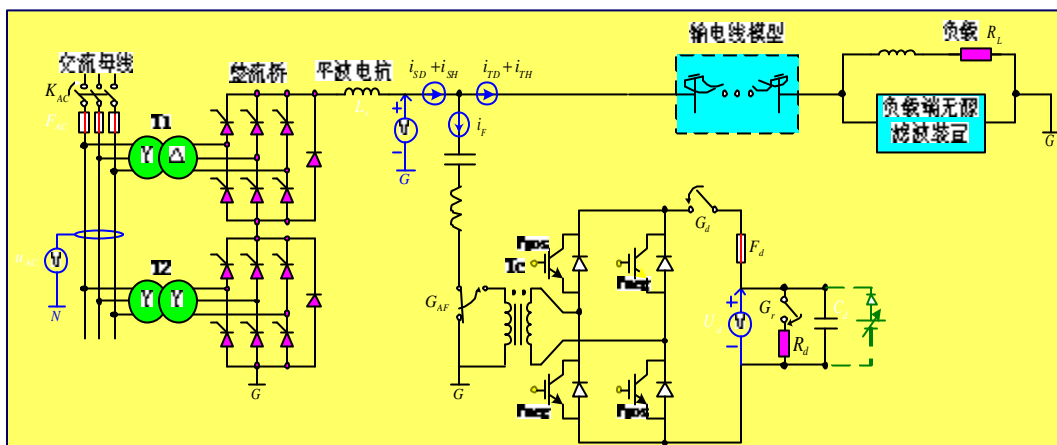


图 1 数字控制板

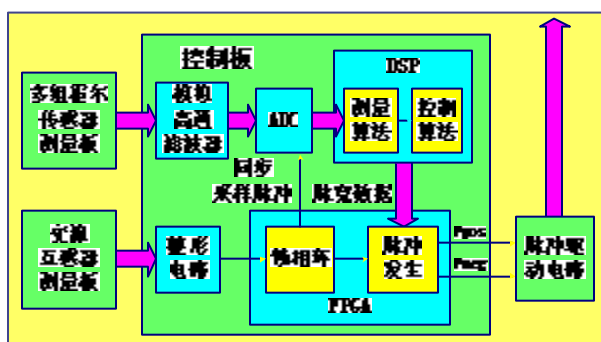
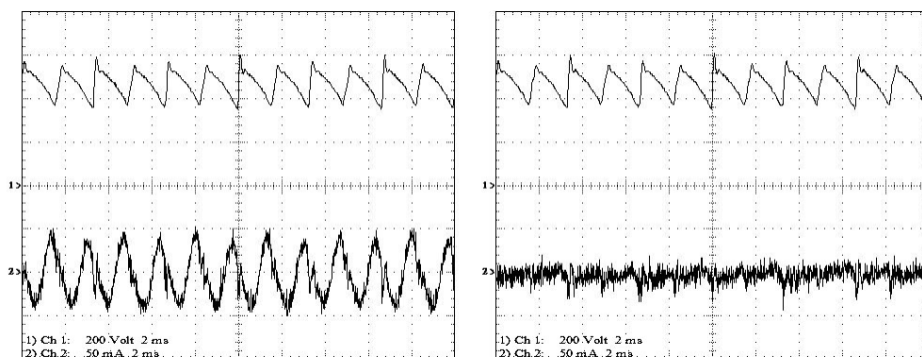


图 2 直流有源电力滤波器的系统结构

图 3 是直流有源电力滤波器作用前后的输电电流实测波形的对比图。在直流有源电力滤波器起动后, 输电电流中的纹波成分得到了有效抑制。

图 3 直流有源电力滤波器作用前后的输电电流波形



(a) 只有无源电力滤波器作用 (b) 直流有源电力滤波器起动后
上方 Ch1：整流输出电压波形；下方 Ch2：输电线路纹波电流波形

实验室样机除验证控制原理之外，在工程细节上也已经做了细致的工作。在图 1 所示的控制器中，我们已经完成了各项操作指令、故障的判断处理、日志记录、录波、测量和控制显示等多种功能设计，为并联型直流有源电力滤波器的可靠安全运行指定了一套具体的设计保障。

2 合作方式

希望能够与企业合作，共同开发并联型直流有源电力滤波器，从而弥补国内的这项空白。此外，对直流电压纹波限制较高的应用，比如：航天、精密制造等，都可以采用此技术实现纹波抑制，提高电源品质。

交流伺服系统的自适应控制技术

1 成果简介

在经历了步进电机伺服和直流电机伺服发展阶段之后，现在已进入了交流伺服迅猛发展的时代。而对于伺服系统对应的功率范围，稀土永磁电机的转矩质量比为其它电励磁电机的两倍左右，并且低速控制性能优异。随着功能强大的数字处理芯片（DSP）的出现，电力电子技术和现代交流电机控制理论的发展，永磁电机性价比的不断提高，将包括电流环在内的所有核心控制环节全部数字化的永磁同步电机控制系统已成为伺服最有前景的发展方向。

本系统的性能主要体现在位置控制精度（定位精度）、位置跟踪精度（位置跟踪误差）和跟踪速度（动态跟随性能）上，为使系统输出以一定精度跟随指令变化，伺服驱动电机运行速度常常处于不停变化的状态，与一般电机调速系统相比，其对转矩、速度的动静态控制特性要求要严格得多。而在实际应用中，负载、惯量等运行条件和电机参数的变化会使采用传统线性 PID 调节器的系统控制性能一致性变差甚至影响到系统的稳定性。本课题在速度和位置控制环采用了人工智能算法、自适应算法等现代控制方法进行系统参数辨识和自动整定解决这一问题并进一步提高了系统动态特性以及对扰动的鲁棒性，在此基础上实现的伺服系统能在大的调速范围和负载波动范围内平稳运行。在此系统中还可选择利用 DSP 进行速度、位置信号的观测，省去码盘，减低系统成本，提高系统运行的可靠性。

2 技术指标

本课题基于美国德州仪器公司的 TMS320F2407/F2812 芯片搭建了电机控制平台，充分利用了 DSP 的高速数据处理能力和强大的输入输出、采样、通讯等外围接口功能，核心控制都由软件实现，硬件结构简单可靠。在此基础上，结合全数字化控制灵活的优势，采用了多种现代控制理论对电机进行高性能的控制。永磁同步电机是一个非线性、强耦合的控制对象，在矢量控制技术出现之前无法方便调速，一般用于恒速场合。矢量控制的交流永磁同步电机伺服系统整体结构由电流环（力矩）、速度环和位置环由内至外构成，速度和电流环采用磁场定向方法对定子电流进行解耦，将其分解为与磁场同步旋转坐标系下的直流励磁分量和力矩分量，这样就可以和直流伺服系统一样方便地对力矩和励磁进行独立的控制，达到精确调速的目的。数字化控制系统的优点是容易实现各种运算复杂、结构灵活的控制算法，以往模拟伺服控制中一些难以解决的问题得到了较好的解决，如低速的转矩齿谐波问题，可以用前馈补偿方法加以抑制，零速微颤的问题可以用变增益法加以改善，电流环可以用解耦算法实现完全解耦等。

3 应用说明

采用本技术的伺服控制系统可广泛应用于包括数控机床、机器人、机电一体化、电动汽车、纺织机械、印刷机械等各种场合的运动控制中。

4 合作方式

面议。

HPR-7000 系列输电线路高精度故障录波与测距装置

1 成果简介

HPR-7000 系列输电线路高精度故障录波与测距装置主要用于 110KV 及以上电压等级输电线路的故障录波与精确故障测距。该产品已于 2004 年 8 月通过了国家检测中心的检测，同时获得国家发明专利授权。

该装置的特点：

（1）故障测距方法先进、测距精度高

由于本装置采用了基于阻抗法测距和行波法测距的组合测距方法，使得该方法具有了两种测距方法的优点，具鲁棒特性的阻抗测距方法能够给出故障发生的范围，误差不超过线路全长的 10%，行波测距方法可以在该

范围内给出精确的故障定位，误差小于 1 千米。

（2）记录故障信息全面

既可记录工频电压和电流、高频信号、开关量等传统录波所记录的电气量信息，同时可以记录电压行波、电流行波等高频暂态信息，从而为全面分析电力系统故障原因、正确分析和评价保护及自动装置的动作行为提供依据。

（3）录波精度高

采用 14 位 A/D，工频量采样频率 1 KHz~10KHz，暂态行波采样频率为 1MHz，波形录波精度优于 2%，谐波分辨率可达 40 次，开关量事件分辨 0.2ms，记录行波时间误差不大于 1μs。

（4）装置结构设计先进

装置采用了前、后台机的设计结构。前台机是基于 PHILLIPS 公司最新产品的 16 位微处理器 51XA-C3 的模块化设计，用于监测电力系统的运行，完成启动录波；后台机采用工业 PC 机，用于录波数据的保存、故障分析、定值整定。前后台机由 CAN 总线相连，组成 CAN 总线局域通讯网络。前、后台机即有分工又相互协作，使装置工作可靠高、维护方便。

（5）启动方式全面

具有电压、电流的相量稳态量、突变量启动，零序电压、电流的稳态量、突变量启动，频差、频率变化率启动、开关量启动、人工启动等启动方法。

（6）后台分析功能强大。

后台分析软件集成了强大的分析功能，包括：故障期间工频电气量波形再现、行波波形再现、开关量变位表，阻抗法测距结果、行波测距结果、组合法测距结果分析，行波 6 重小波分析结果的波形显示分析，相、序量计算，频率计算，功率计算，谐波分析，小波分析等，各分析结果都能以故障报告的形式打印。

2 应用说明

由于该装置记录故障信息全面，工作可靠，测距准确、精度高，所以一经推出就深受广大电力部门的欢迎，并已经在黑龙江省佳木斯电力局、福建省泉州电力局得到使用，用户都给出了高度的评价。随着该产品的不断推广和应用，必将为我国的电力事业作出更大的贡献。

3 合作方式

面议。

新型动态电能质量控制技术

1 成果简介

该项目的目标是研究电力系统电压波动、闪变、动态电压跌落、电力谐波、不对称形成的严重危害及相应的解决动态电能质量的对策；针对我国尚缺动态电能质量国家标准的现状，研究合适的动态电能质量国家标准；研究电能质量的监测、评估技术；研究基于电力电子技术各种动态电能质量控制技术包括动稳态谐波补偿技术、动态电压补偿技术、动态电能质量统一控制技术以及基于超导和新能源发电的分布式发电技术；为提高供电系统电能质量及为高新敏感技术提供高可靠性、洁净的电能作出贡献。

新型动态电能控制技术的应用：

- 消除非线性、冲击负荷产生的谐波污染
- 提高负荷侧动态电压水平
- 抑制系统电压波动、闪变，保证敏感负荷可靠供电
- 抑制系统电压谐波，为负荷提供纯净电能
- 补偿系统电压不平衡，为负荷提供完全对称的电源

已有研究成果：

10 ~ 15kVA 动态电压调节器（DVR）装置

2002 年被台达基金评为优秀项目；

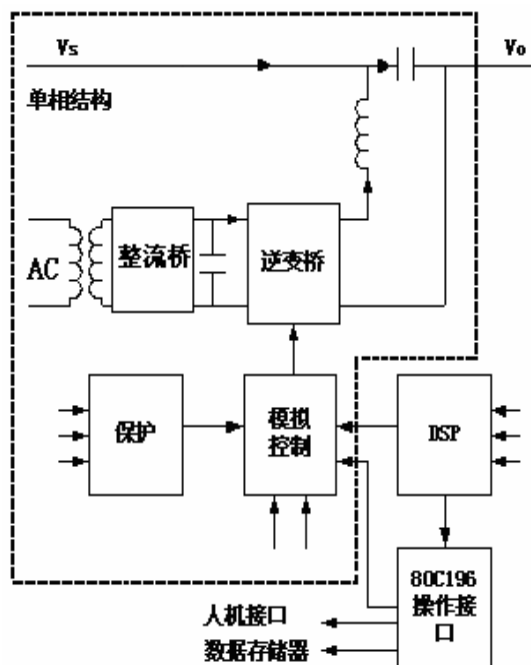
2003 年 4 月通过国家电磁兼容检测中心测试，达到产品三级电磁兼容水平。

10~250kVA 配电系统有源滤波器(APF)装置

10kVA 电能质量统一控制器。

动态电压调节器（DVR）

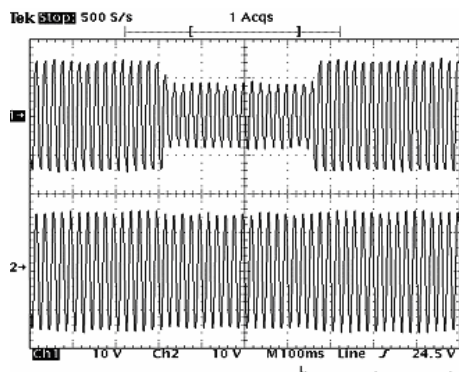
对直流侧电源的逆变产生相应的三相交流电压，通过变压器与原电网电压相串联，以补偿故障电压和正常电压之差，从而使负载端电压恒定，保证对电压敏感的电器设备的正常运行，是抑制或消除电压跌落从而保证敏感负荷正常运行的有效补偿设备。



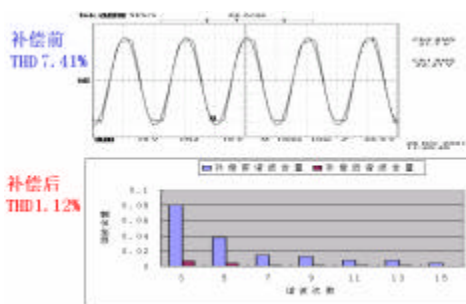
10kVA DVR 的构成



DVR 装置外观



系统电压突然跌落时，DVR 的补偿效果



DVR 对供电电压谐波的补偿效果

有源滤波器 (APF)

实时检测电网中非线性负载电流的谐波分量和无功电流，然后产生与之大小相等、相位相反的电流，进行实时补偿，从而实现抑制谐波、补偿无功的功能，是改善系统电流质量问题的有效装置。



10kVA 有源滤波器外观图



5kVA 电能质量统一控制器



配电系统电能质量统一控制器（DS - Unicon）

统一电能质量控制器结合了串、并联补偿装置的特点，具有对电压、电流质量问题统一补偿的功能。其并联部分相当于一个 APF，作用是消除谐波、补偿无功、抑制闪变和不对称，同时还调节直流侧电容两端的电压；串联部分相当于一个 DVR，不但可以进行谐波、无功补偿，还可以抑制电压跌落等动态电能质量问题，提高供电的可靠性。

2 合作方式

面议。

大型发电机定子绕组内部故障分析及其主保护的定量化设计

1 成果简介

本项目主要内容分为两部分：内部故障分析和内部故障主保护的定量化设计。

内部故障分析方面，突破了传统电机理论的限制，创立并充实了电机的多回路理论。把电机看作由若干相互运动的回路组成的电路，按一般的电路法则研究电机的运行行为。由于电机转子的旋转，电机各回路的电感系数多是时变参数。定子绕组发生内部故障时电机气隙磁场出现了很强的谐波，计算电机的电感参数时必须考虑这些谐波的作用。这就是用电路的方法（多回路分析法）研究电机的主要特点和难点。经过二十多年的工作，我们运用多回路分析法对交流电机定子绕组内部故障稳态和瞬态进行了全面系统的研究，包括建立数学模型、分析计算、实验验证等，并于 2001 年

和 2003 年两次通过由教育部组织的相关项目科技成果鉴定。

在对发电机内部故障全面仿真计算的基础上，提出了发电机主保护的定量化设计方法。根据发电机绕组结构的不同提出了不同的优化设计过程，为科学制定发电机主保护配置方案及合理选择发电机中性点侧引出方式和电流互感器配置方案开辟了新途径，彻底改变了以往工程界仅凭概念、经验和传统习惯的定性的设计方法，为大型发电机组的安全运行提供高质量的保护，并在一系列大型电站发电机组的主保护设计中得到推广应用。

发电机故障分析软件

同步电机定子绕组内部故障是电机常见的破坏性很强的故障，研究同步电机定子绕组内部故障，设计内部故障保护的配置方案以减轻故障损害具有重要的意义。

清华大学首先提出了电机的多回路理论，并系统地、创造性地应用于计算发电机内部故障。全面考虑了气隙磁场空间谐波、绕组的空间位置、连接方式和饱和等多种因素的影响，为电机内部暂态与稳态故障计算奠定了理论基础。

课题组对凸极和隐极电机的各种外部故障及内部短路进行了仿真计算。并在多台各种类型、不同容量的实验电机上进行了各种内部短路实验。仿真和实验结果相符，证明了多回路模型和程序的正确性。仿真计算的准确度可以满足工程要求。

2001 年 11 月通过了教育部组织的科学技术成果鉴定，鉴定委员会一致认为：课题组对同步电机定子绕组内部故障的研究成果，在研究的深度和应用的广度方面居于电机内部故障分析的国际领先地位。在全面分析计算发电机内部故障的基础上，结合电机实际和微机保护运行经验，在三峡水轮发电机微机主保护配置方案和设计方法方面处于国际领先水平。

发电机故障分析软件正是以经过鉴定的成果为基础编制的，它以交流电机的多回路理论为基础，利用计算机技术建立友好的数据输入和计算结果显示界面，方便用户使用。软件是发电机内部故障分析方法与主保护设计的创新，非常适合于大中型发电机主保护设计整定计算用。

技术特点：

交流电机多回路理论的成功应用

全面分析多种因素的影响：

气隙谐波磁场的作用

绕组的各种连结方式

线圈空间位置的影响

主要功能：

- 分析交流电机各种形式的内部和外部故障
- 计算电机所有电压和电流等电气量
- 定子任意支路电流的组合以利于各种保护方案的分析
- 良好的输入和输出界面

2 应用说明

先后为龙羊峡、葛洲坝、宝珠寺、二滩、秦山核电二期、三峡、龙滩、凤滩等电站的发电机进行了内部故障计算并设计了主保护的配置方案，利用发电机内部故障计算的科研成果和先进的微机技术，对不同特点机组构成多重短路主保护。这些内部故障的保护装置已成功地运行在各电站，取得了显著的经济效益和社会效益。

3 合作方式

面议。

基于软分区的三级无功电压优化控制系统

1 成果简介

多年来,我国电网的运行和控制一直是“重有功频率”而“轻无功电压”。随着“西电东送、全国联网”重大工程的实施,我国电网进入了高速发展期,其无功电压问题日益突出。如何研究开发出适合我国电网的全局无功电压优化控制系统,保障我国电网的安全经济运行,已经成为当务之急。

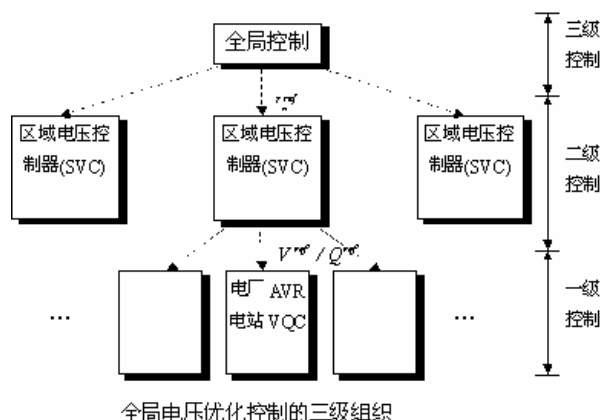
从全局来看,目前我国电网的无功电压运行并不是最优的,降低网损存在着较大的技术空间。要改变当前的这种现状,光是靠增加无功补偿设备,增加变电站 VQC 和发电厂 AVC 调压比例,并不能从根本上改变目前这种无序的调压状态。必须在我国电网建立一个调压“大脑”及传输命令的“神经”通道。即在调度中心建设一个调压的控制中心并沟通控制中心到各调压设备的命令传输,以使电网在调度中心集中分析电网运行状态、确定调压策略,通过命令传输通道实现远程操作目标调压设备。只有这样才能真正实现电网无功电压优化运行。

全局无功电压优化控制系统集安全 and 经济于一体,通过对发电机无功出力等控制量的实时闭环优化控制,在保障大电网电压合格和无功充裕的前提下,使大电网的网损降到最低,这对提高大电网运行的安全性和经济性

具有重大意义。

与大电网现有的有功频率控制系统相比,全局无功电压优化控制的难度更大,主要的特殊困难有:(1)需要监控的电压点多,监控复杂性高;(2)无功电压的非线性强,机理复杂;(3)电压控制设备的作用和特点不同,在协调上存在困难,如发电机无功出力属于连续变量,而电容器投退属于0-1变量且有操作次数限制等等。(4)无功不能远距离输送,存在局域性的电压安全质量问题。

本项成果充分借鉴了本领域国内外最先进的研究成果。目前国际上应用比较多也比较成功的电压分级控制方案包括三个层次,见右图。



显然图中每一层控制都有其各自的目标,低层控制接受上层的控制信号作为自己的控制目标,并向下一层发出控制设定值。三级电压控制分别为:

一级电压控制为本地控制(local control),只用到本地的信息。控制器由本区域内控制发电机的自动电压调节器(AVC)、变电站内的VQC(控制有载调压分接头(OLTC)及可投切的电容器)等组成。对发电厂AVC而言,控制时间常数一般为几秒钟。在这级控制中,发电厂内控制设备AVC通过保持输出变量尽可能的接近设定值来补偿电压的快速、随机的变化;变电站内VQC控制,保证下一电压等级在合理范围内,同时保证无功的就地补偿和局部平衡。

二级电压控制的时间常数约为几十秒到分钟级,控制的主要目的是保证中枢母线(Pilot Node)电压等于设定值,如果中枢母线的电压幅值产生偏差,二级电压控制器则按照预定的控制规律改变一级电压控制器的设定参考值,二级电压控制是一种区域控制(Region Control),只用到本区域内的信息。

三级电压控制是其中的最高层,它以全系统的经济运行作为优化目标,并考虑电压稳定性指标,最后给出中枢母线电压幅值的设定参考值,供二级电压控制使用。在三级电压控制中要充分考虑到协调的因素,利用整个

系统 (System-wide) 的信息来进行优化计算, 一般来说它的时间常数在十几分钟到小时级。

但是, 我国电网的发展迅猛, 运行工况也大幅变化, 以硬件形式固定下来的区域控制器难以适应, 同时研制地理上分布的区域控制器, 投资也很大。因此, 在我国网省调, 欧洲这种三级组织模式在实现上是有困难的。

考虑到这种困难, 同时也考虑到我国实际的电力调度管理体制和自动化的软硬件基础, 本项目提出了基于“在线软分区”的全局电压优化控制的体系结构。在该结构中, 毋需建设“硬”区域电压控制器, 而是在调度中心的能量管理系统 (EMS) 基础上, 建设“软”二级控制和“软”三级控制, 以软件方式来实现全局电压控制的时空解耦, 这种新的控制模式适合发展中的我国电网。

一个更好的理解三级电压控制的方法是把它和已经比较成熟的频率控制做一个类比, 频率控制和电压控制在分级上比较类似, 所不同的是频率控制的控制对象是整个系统唯一的频率值, 而电压控制则不止一个对象, 需要对所有中枢点的电压进行监测和控制。一级电压控制利用 AVR 等调节手段, 类似于一次调频中发电机的调速器等装置的自动动作; 二次调频中使用的 AGC 利用一定的控制手段来使区域控制误差不断减小为零, 可以类比于二级电压控制对中枢点电压偏差的校正; 而三次调频中通过经济调度 EDC 来设定 AGC 机组的运行点可以类比于通过三级电压控制 (OPF) 去设定二级电压控制的中枢点电压设定值。这样, 已经比较成熟的频率控制中的一些做法可以给无功电压控制带来一些启发。

关键性的技术路线介绍如下:

(1) 提出基于“在线软分区”的三级电压优化控制的实用体系结构。与法国等欧洲发达国家的三级电压优化控制系统不同, 考虑到我国电力系统的发展迅猛, 运行工况也大幅变化。为此, 我们提出“在线软分区”的新思想, 毋需建设“硬”二级电压控制器, 而是在控制中心安装软件, 来实施“软”二级和“软”三级控制, 投资小且非常适合发展变化频繁的我国电网。

(2) 提出“在线软分区”的模型和算法, 并予以实现。基于无功电压的局域特性, 当电网运行方式发生大的变化时, 整个电网被在线自适应地分解成一个个围绕电压中枢母线的二级控制区域, 由于与以硬件形式固定下来的“硬分区”不同, 因此称为“软分区”。分出来的控制区域满足三个要求, 即: 中枢母线电压的代表性、区域的可控性、区域间的解耦性。

(3) 分区对电网的静态电压稳定裕度进行在线监视和紧急控制, 给出当前断面的静态电压稳定的总体指标和各区域负荷的电压崩溃距离。为了保证电压控制中的电压稳定性, 在二级电压控制中, 需要以电压稳定为主要目的, 定义新的目标函数, 以保证母线的电压不至于崩溃, 这种模式被称为紧急模式, 和正常的二级电压控制模式相互补充, 当系统正常运行时, 采用以控制中枢母线电压为主要目的的正常控制模式, 而如果监测到系统出现了电压失稳的症状, 则自动切换到紧急模式, 改变控制策略, 以期达到保证电压稳定的目的。

(4) 支持标准化和开放系统概念, 遵循 IEC61870-CIM/CIS 标准化技术, 实现 SCADA 系统和无功电压优化软件的标准化的导入导出接口技术, 不但适应目前的 EMS 系统, 而且适应未来 EMS 的更新换代, 被导出的电力系统实时模型还支持离线的综合稳定分析等程序的需要, 这在国际上属研究前沿。

(5) 提出并实现针对无功电压的准稳态灵敏度分析方法。该方法考虑了电力系统准稳态的物理响应, 重点考虑发电机准稳态的无功电压外特性, 在全局优化中考虑安装有 AVR 和 AQR 等机组的准稳态响应, 弥补了常规稳态方法的不足, 提高了实时优化控制决策的计算精度。

(6) 实现协调二级电压控制(CSVC)。随着电力系统的发展, 系统之间的耦合日益紧密, 传统二级电压控制所要求的区域间解耦的条件在实际的电力系统中难以达到。因此, 本项目考虑了其他区域对本区域的影响, 通过求解多变量的二次规划问题得到协调二级电压控制策略。此外, 提出协调策略, 在保证区域无功充裕的原则下, 对电容器投退实施协调控制。

(7) 实现基于最优潮流(OPF)的三级电压控制。三级控制运行在全局电压优化控制系统的最高层次上, 由它给出中枢母线电压的最优设定值, 用以协调“软”二级控制的行为, 以实现各种安全约束下的网损最小。

(8) 提出并实现闭环控制区域与开环控制区域相互协调的实用策略。在工程实施时, 由于发电机、VQC 数量大、分布范围广, 再加上实际情况复杂, 一般无法做到集中控制所有的发电机和 VQC, 而是先闭环控制一部分, 而其它部分实施开环控制。这时, 需要对闭环控制区域与开环控制区域进行符合电网实际的协调。

(9) 电厂 AVR 装置安装于电厂控制室, 通过优化控制各机组的无功出力, 达到实时调节电厂高压侧母线电压的目的, AVR 最优设定值(即电厂高压侧母线电压设定值)由二级电压控制器(SVC)在线整定。AVR 装

置由上位机和下位机两部分构成。每个节点有一台上位机，该节点上挂接的每台发电机各有一台相应的下位机。上位机通过 RTU 通道与设于调通中心的主站通信，向主站系统上传所需的实时信息，接受主站端的控制指令，并与多个下位机（VQR）间实现闭环运行，优化分配各机组实时输出的无功；或根据预置的高压侧母线的电压曲线，离线完成厂站端无功电压的优化控制。下位机接受上位机下传的控制指令，通过调节发电机励磁电流，实现发电机的自动电压控制。

（10）变电站 VQC 控制安装在变电站控制室，以扩展九区图作为控制策略，通过修改综合自动化或者专用 VQC 装置，来实现本站内的并联电容器/电抗器的投切和有载调压变压器分接头的调节。这种办法简单易行，可以保证一定的电压合格率和功率因数，VQC 扩展九区图的最优设定值由二级电压控制器（SVC）在线整定。

（11）在地调电网中，主要的控制手段是变压器分接头的调整和电容器的投切，是一些离散变量，一方面要考虑设备的最大动作次数约束及优化动作时间，另一方面要根据负荷变化确定不同时段的最优投运容量。这是一个复杂的非线性优化问题。可考虑采用我们独创的基于能量损耗最小的最优匹配注入流的算法。该算法仅计算一次就可以求出所有电容器在各个时段的最优投运容量，而且具有很好的收敛性和寻优性能，同时结合遗传算法，来协调 OLTC 的调压能力。

2 应用说明

在应用研究方面，我们最早于 1989 年在东北网调实现了实时状态估计和电网培训仿真系统(DTS)，双双获得国家科技进步二等奖。同时最早于 1993 年在东北网调实现了最优潮流（OPF）的实时应用，填补 OPF 实时应用的国内空白，获得了国家教委科技进步二等奖，至今已近十年。随后，该实时最优潮流软件先后在河南、广西、河北、吉林等多家省调和深圳、南昌、金华等 30 多家地调得到推广应用。

2000 年，我们和江西九江供电局合作的无功优化控制课题获 2002 年江西省电力公司科技进步 1 等奖。随后基于地区的无功优化控制系统在国内江苏镇江、浙江湖州、江西赣州、江西吉安、吉林长春、安徽淮南等地调得到推广应用。

从 2002 年底开始，我们和江苏省调合作，进行省调无功优化控制系统的研究和开发，该项目于 2003 年获国家电网公司重点科技攻关项目支持，在 2004 年 1 月份通过了江苏省电力公司项目验收，并将于 2004 年 7 月召

开国家电网公司重点科技攻关项目的验收会。目前，该系统已在江西省网推广应用。

此外，清华大学作为国家电网公司 EMS-API 工作组的成员，作为主要的研究单位跟踪国际上 IEC61970-CIM/CIS 标准化技术的研究，因此，本设计方案既满足当前 EMS 系统上实施本项目的需要，又满足今后技术发展的需要。如果我国电力调度中心将来往基于 IEC61970-CIM/CIS 的 EMS 方面发展，清华大学已经在这方面的工作将提供升级为组件化软件的条件。这些都是最新的技术发展方向。

3 合作方式

面议。

矩阵式变换器的研究

1 成果简介

阵式变换器是一种直接型的交流 - 交流电力变换装置，其结构不同于传统的交 - 交变频器和交 - 直 - 交变换器。它具有新型拓扑结构，无中间直流储能环节，能直接进行频率变换，如图 1 所示，三相 - 三相矩阵式变换器由 9 个双向开关组成，每个双向开关均具有双向导通和双向关断的能力。9 个双向开关按照 3×3 的矩阵进行排列，通过双向开关的导通与关断，三相交流输入中的任意一相可以连接至三相交流输出中的任意一相。

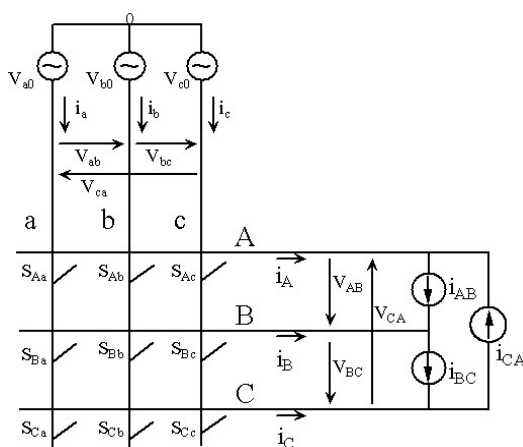


图 1 三相 - 三相矩阵式变换器电路拓扑

矩阵式变换器由于其自身特点，具有很多优于传统交 - 直 - 交变换器的特性：

- 无中间直流环节电容器和电感器，尺寸大大降低。
- 无需较大的滤波电容，动态响应快。
- 功率可双向传输，可利用再生能量。
- 具有四象限运行功能。
- 依靠调制技术，具有正弦的输入/输出波形。输出电压波形可控制在接近于正弦波。
- 控制自由度大，输出电压的大小和频率可调，输出频率不受限制。
- 输出电压和输入电流的低次谐波含量都较小。产生的谐波畸变位于高频段。
- 输入功率因数可调（可超前、滞后调至逼近于 1）。
- 结构紧凑，体积小，串联的器件数目减少，故效率高，便于实现模块化。
- 利用同一套主电路，通过不同的控制规律，可以实现 AC/AC，AC/DC，DC/AC，DC/DC 等变换，故称为通用变换器。

近年来，随着矩阵式变换器技术的日臻成熟，它也被越来越多地应用于不同的领域。矩阵式变换器已被分别应用于异步电机矢量控制系统和直接转矩控制系统中，并且取得了较好的输入、输出特性和传动性能。另外，矩阵式变换器还用于异步发电机和永磁同步电机的传动控制中。由于矩阵式变换器自身固有的能量双向流通和功率因数可控运行的能力，它也被用于在电力系统中调节功率因数，改善电能质量。同时矩阵变换器独特的原理和结构也被利用于其它方面，例如设计精确滤波稳压电源、三相可控整流器等。

目前矩阵式变换器的研究主要集中于工业实际应用中遇到的问题，如：

- 1) 多步换流策略的可靠实现；
- 2) 过电压保护和过电流保护；
- 3) 双向开关的实现与集成化；
- 4) 非正常情况下的运行控制策略；
- 5) 输入滤波器的优化设计。

2001 年，清华大学通过国际合作开始进行矩阵式变换器与电压型变换器的比较研究。设计并开发了一套三相 - 三相矩阵式变换器 - 异步电机调速系统样机。

主回路采用 18 个 IGBT 单管模块实现了 3×3 的双向开关矩阵；设计了带有隔离电源的专用驱动电路板为 IGBT 开关器件提供驱动信号；采用

TMS320F240 DSP 芯片作为控制电路的核心，实现了矩阵式变换器的空间矢量调制算法，设计了一种开关状态对称分布的 PWM 调制方式，有效地减少输出电压中的谐波成分；利用可编程逻辑器件（PLD）实现了双向开关的四步换流策略；设计制作了输入 LC 滤波器以及过电流保护电路和信号检测电路。同时，对矩阵式变换器 PWM 整流器以及电压型逆变器在控制方式、谐波成分、滤波器设计，以及在输入电压不平衡情况下对电网影响等方面进行了比较分析，并且针对输入电压突然变化等特殊情况，提出了实时调节调制系数对输出电压进行补偿的控制方法，有效地改善了矩阵变换器的输出性能。

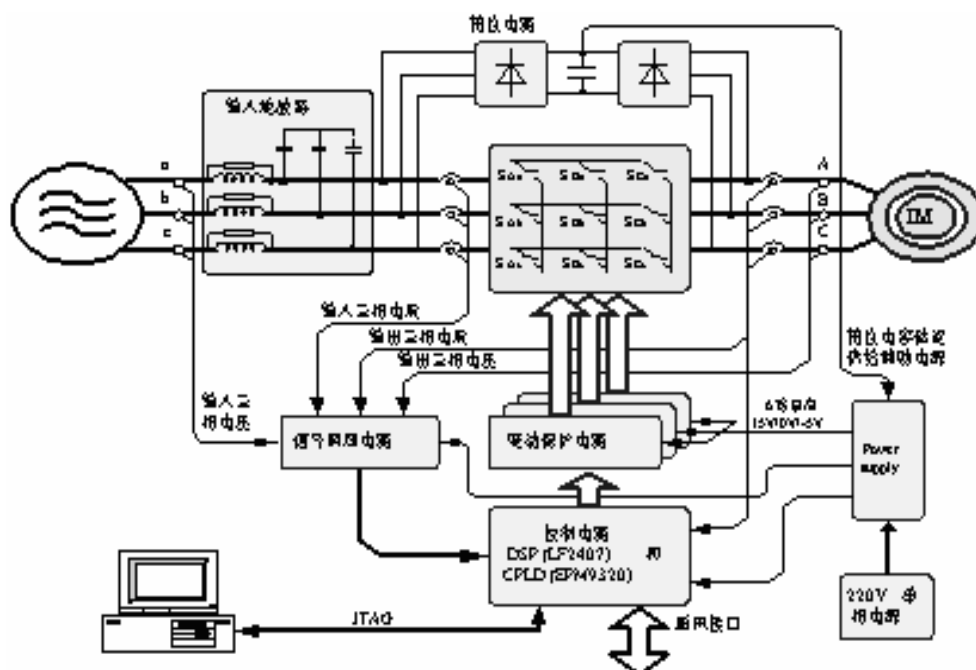


图 2 矩阵变换器样机机构

2003 年开始与日本某电机公司合作研究基于逆阻式 IGBT 的 AC-AC 电力变换器。采用六合一的由 600V/100A RB-IGBT 构成的三相/一相双向开关矩阵模块。三个模块实现了一台三相/三相矩阵变换器样机。矩阵变换器样机的控制电路以 DSP 芯片 TMS320LF2407 和 CPLD 芯片 EPM9320 为核心，采用基于虚拟整流器和虚拟逆变器的双空间矢量调制算法，实现了对一台 5HP 的异步电机的恒压频比控制，实验结果如图 3 所示。RB-IGBT 是一种

具有反向阻断能力的新型功率半导体器件,其内部取消了传统 IGBT 的反并联二极管,正、反向均可承受电压。因此它所构成的双向开关可以省去普通 IGBT 所并联的二极管,采用 RB-IGBT 时通态损耗较低。

目前,矩阵式变换器和基于自抗扰控制器的异步电机组合控制得到了国家自然科学基金的资助(基金号 50377014),矩阵式变换器在电气铁道辅机中的应用得到了清华大学-铁道部科技研究基金的支持(基金号 T200404)。

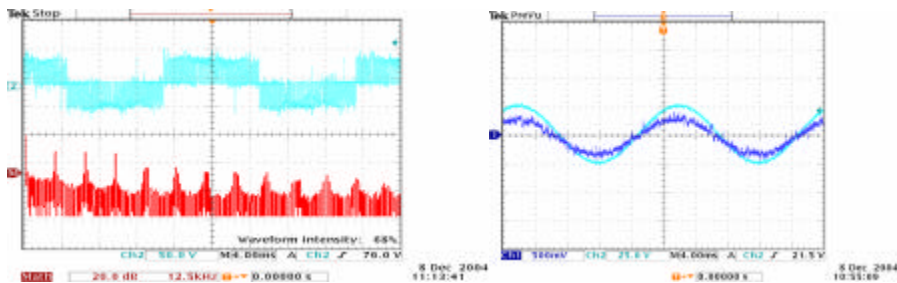


图 3 输出线电压和频谱输入相电压相电流

2 应用说明

近几年来,诸多大公司开始加强对矩阵变换器的研发工作,预计在不久的将来,其产品就将出现在转速较低的传动系统、电源产品、高压大功率变换、风力发电、功率因素校正等一系列工业应用中。

3 合作方式

面议。

三相新型综合电力滤波器装置

1 成果简介

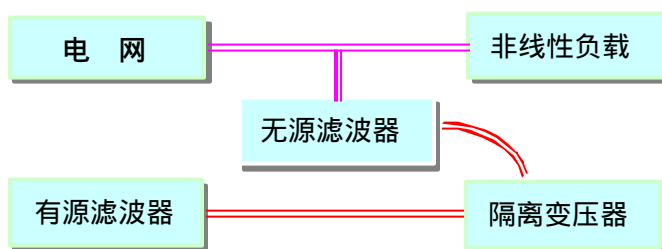
冶金、纺织、电气化铁道、化工等行业大量使用的、先进的大型设备(属于非线性变流装置)给电网带来了日益严重的污染,使得电网电压和电流波形发生畸变。其结果造成电力系统中大批电力电容器过热甚至损坏;引起继电保护和自动装置误动作;造成对通信线路和电子设备的严重干扰;使得许多高档设备降低寿命、易损坏,有时不能正常工作;增加损耗、浪费能源;尤其严重的是瞬时停电,对人民生活 and 工业生产造成巨大损失。因此必须对

电网的污染源进行治理。

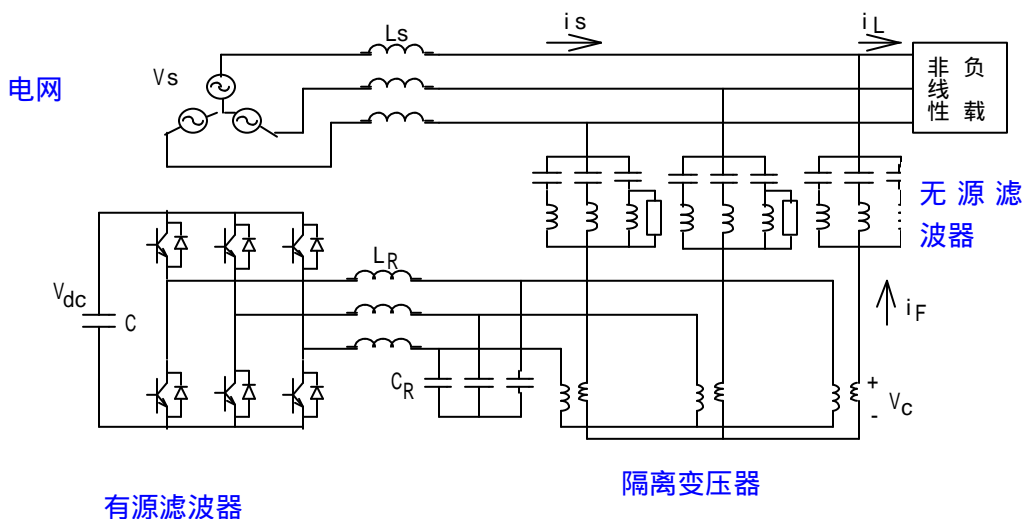
原理：

由小容量的有源滤波器和无源滤波器串联构成，与被补偿的谐波负载并联连接，通过对电网电压和谐波电流进行实时的检测，控制有源滤波器产生相应的谐波补偿电流，使得电网侧电流波形为正弦。同时，进行无功补偿。

主电路



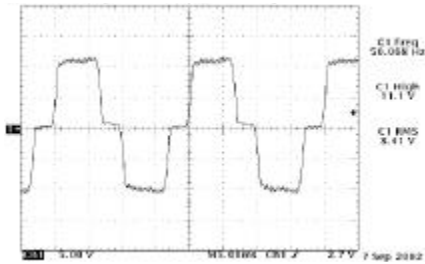
综合电力滤波系统装置的主电路框图



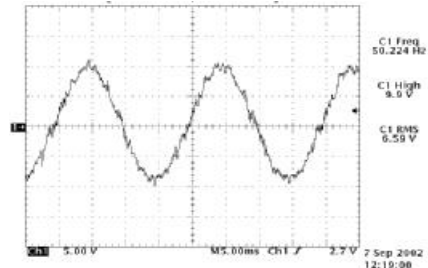
工业装置的实测结果

我们研制了一定容量、由无源和有源滤波器构成的综合电力滤波器装置，已投入工业运行，并对其滤波效果进行现场测试。混合型有源滤波器

投入前后，电源侧电流的波形如下：



投入前



投入后

投入前电源侧的电压、电流畸变率和功率因数分别为 6.6%、25.7%、0.7；

投入后电源侧的电压、电流畸变率和功率因数分别为 2.8%、7.5%、0.98；

测试结果表明，混合型有源滤波器装置具有较好的滤波效果。

特点：

- (1) 进行无功补偿，功率因数接近 1；
- (2) 系统的滤波性能好，性能指标高于国家规定的标准。
- (3) 系统的滤波效果受电力系统阻抗的影响小；
- (4) 电力系统阻抗和滤波器之间不会产生串联或并联谐振；
- (5) 同一交流系统中其它滤波负载产生的谐波电流不会流入无源滤波器；
- (6) 初始投资和运行费用都比较低。

2 技术指标

(1) 额定电压和电流：三相电压 400V (10kv)，总谐波电流 0—1000A。

(2) 滤波效果：滤除 2~30 次谐波，其性能指标达到并超过国家标准和地方标准。

(3) 无功补偿：补偿动态的无功功率，功率因数接近 1。

(4) 工作方式：自动投切，连续运行。

(5) 保护功能：具有过载、过压、过热、缺相、短路、抗干扰等保护功能，并自动切除。

(6) 液晶显示：电网电压、电流、各次谐波电流值、电压畸变率、故障报警等信号。

3 应用说明

冶金、纺织、电气化铁道、化工、通讯、机械等行业，一般大量使用先进的大型非线性设备场合。

4 合作方式 面议。

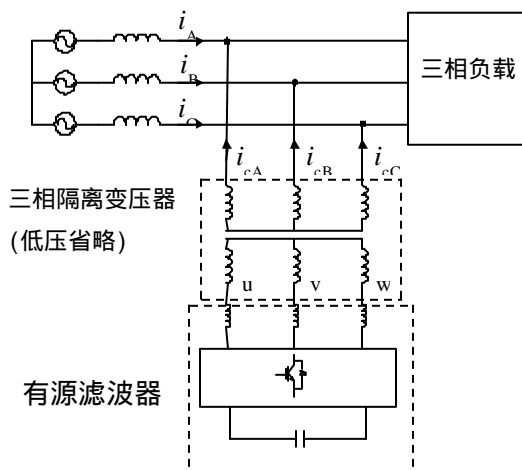
三相有源电力滤波器装置

1 成果简介

大量由电力电子开关构成的具有非线性特性的变流装置和大容量动态负载的使用，给电网带来了日益严重的谐波污染，引起电网波形畸变，危及电力系统的安全经济运行，对其它谐波敏感型负载的正常运行也带来了威胁，必须采取有效的措施来消除电网中的高次谐波。目前国内工业上多采用并联型无源 LC 滤波器滤除电网中的高次谐波，缺点如下：(1) 滤波效果受电网阻抗影响大；(2) 由于其谐振频率是固定的，对交 - 交变频器这类谐波频率经常变化的负载滤波效果不好；(3) 其它谐波源谐波电流的流入，存在过负荷的危险；(4) 容易和电网阻抗相作用产生并联和串联谐振，引起谐波放大。

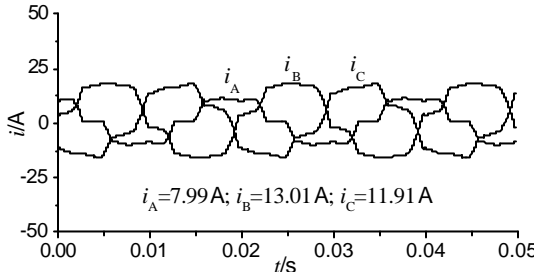
纯有源滤波器由有源逆变器构成，与被补偿的谐波负载并联连接，通过对电网谐波电流进行实时的检测，控制有源滤波器产生相应的补偿电压，使有源支路的阻抗对各次谐波都为零，从而提高滤波器的滤波效果。

主电路

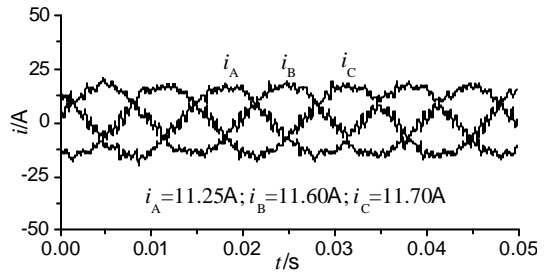


三相三线制有源滤波器原理图

装置的实验结果



(a) 投入前电流波形



(b) 投入后电流波形

电源侧电流的实验波形

特点

- (1) 滤波系统的滤波效果受电力系统阻抗的影响小；
- (2) 滤波系统的滤波性能好；
- (3) 电力系统阻抗和滤波器之间不会产生串联或并联谐振；
- (4) 同一交流系统中其它滤波负载产生的谐波电流不会流入有源滤波器；
- (5) 同时能动态补偿无功和不平衡。

2 技术指标

- 1、定电压和电流：三相电压 400V (10kv)，总谐波电流 0—1000A。
- 2、滤波效果：滤除 2~30 次谐波，其性能指标达到并超过国家标准和地方标准。
- 3、无功补偿：补偿动态的无功功率，功率因数接近 1。
- 4、工作方式：自动投切，连续运行。
- 5、保护功能：具有过载、过压、过热、缺相、短路、抗干扰等保护功能，并自动切除。
- 6、液晶显示：电网电压、电流，各次谐波电流值、电压畸变率、故障报警等信号。

3 应用说明

- (1) 化工、冶金中的交直流传动系统，冶金行业使用的电弧炉等；
- (2) 通讯、电气化铁道等行业所用的电源等；
- (3) 居民小区、写字楼、重要单位等。

4 合作方式

- (1) 大投入（几百万以上），成立研究所，进行全面的合作；
- (2) 提供工业样机，并进行技术转让；
- (3) 提供工业样机，但不进行技术转让。

新型综合电力滤波器装置

1 成果简介

工业领域大量使用的非线性变流装置、家用电器、通讯设备、电气化铁道的牵引设备等，给电网带来了日益严重的谐波污染，引起电网波形畸变，危及电力系统的安全经济运行，必须进行治理。

传统的并联型无源滤波器（LC）虽然价格低廉，但在如下缺点：滤波效果受电网阻抗影响大，对谐波频率经常变化的负载滤波效果差，容易过载而产生危险，容易产生并联或串联谐振。

先进的纯有源滤波器。它虽然克服了无源滤波器的缺点，但也存在如下缺点：大容量情况下技术难度大；初始投资和运行费用高，影响到实际应用和推广。

结合两者的优点，我们研制了一种由有源和无源滤波器串联构成的新型综合电力滤波器。它由小容量的有源滤波器和无源滤波器串联（或并联）构成，与被补偿的谐波负载并联连接，通过对电网电压和谐波电流进行实时的检测，控制有源滤波器产生相应的补偿电压，从而提高无源滤波器的滤波效果，同时进行无功补偿。（三相三线制滤波器，三相四线制滤波器）

系统特点：

- 1、补偿稳态的无功功率；
- 2、系统的滤波性能好；
- 3、滤波效果受电力系统阻抗的影响小；
- 4、使得电力系统阻抗和无源滤波器之间不会产生串联或并联谐振；
- 5、同一电力系统中其它谐波负载产生的谐波电流不会流入该滤波器；
- 6、系统中有源滤波器的容量比无源滤波器要小的多，初始投资和运行费用都较低。

2 技术指标

(1) 额定电压和电流：三相电压 400V (10kv)，总谐波电流 0—1000A。
滤波效果：滤除 2~30 次谐波，其性能指标达到并超过国家标准和地方标准。

(2) 无功补偿：补偿稳态的无功功率，功率因数接近 1。

(3) 工作方式：自动投切，连续运行。

(4) 保护功能：具有过载、过压、过热、缺相、短路、抗干扰等保护功能，并自动切除。

(5) 液晶显示：电网电压、电流，各次谐波电流值、电压畸变率、故障报警等信号。

3 应用说明

(1) 化工、冶金中的交直流传动系统，冶金行业使用的电弧炉等。

(2) 通讯、电气化铁道等行业所用的电源等。

(3) 居民小区、写字楼、重要单位等。

4 效益分析

从 2000 年为例，无源电力滤波装置的成本为 120-15/KVA，而有源电力滤波装置的成本为 800/KVA 以上，按照这个标准计算综合电力滤波装置的成本为 180-300/KVA。

5 合作方式

(1) 大投入（几百万以上），成立研究所，进行全面的合作；

(2) 提供工业样机，并进行技术转让；

(3) 提供工业样机，但不进行技术转让；

(4) 其它。

RTV 单组分绝缘子防污闪憎水长效涂料

1 成果简介

电力设备外绝缘表面在运行过程中会逐渐积污；在雾、露、毛毛雨、溶雪等气候条件下，电瓷外绝缘的绝缘强度会急剧下降，在运行电压下就有可能发生沿面闪络，即造成污闪。污闪事故的重合闸成功率低，甚至会造成导线落地的恶性事故。我国电网在向大电网、高电压方向发展的同时，系统的污闪问题显得越来越突出。1990 年，华北电网发生大面积污闪；1996

年，华东电网发生大面积污闪，2001 年，辽宁、华北和河南电网又发生大面积污闪事故。近些年，由于经济的发展，环境条件的变化，污闪事故发生频繁且波及面大。污闪事故会造成大面积、长时间停电，往往给人民生活带来诸多不便，给国民经济造成严重经济损失。

目前，电力系统的防污闪措施主要有调整爬距、更换合成绝缘子、增加清扫周期以及涂憎水涂料。更换合成绝缘子和调整爬距需要比较大的经济投入，而且对于变电站的外绝缘设备也没有太好的方法；增加清扫周期一方面需要停电、另一方面劳动强度大，另外也需要经济投入。

清华大学在 1986 年就开始研究憎水涂料的防污闪措施，并开发出了 RTV 憎水长效防污闪涂料。该成果多次荣获国家奖励。最近又在原有基础上，对产品进行了改进，开发出了多种规格的 RTV 憎水长效防污闪涂料，并在 2002 年通过了中国电力科学研究院的检测试验。该产品有以下特点：

- 适用于多种污秽地区，并已取得成功的运行经验，使用后 5 年不用清扫瓷件（目前安全运行最长的历史已达 17 年）。

- 针对多种污秽具有优良的憎水性和憎水迁移性。

- 电气绝缘性能优良。

- 强度高，附着力强，具有较强的自清洁能力。

- 耐腐蚀，耐老化，不起皮，不开裂。

- 使用方便，设备喷涂后即可投入使用。

2 技术指标

本产品主要技术指标均优于 DL/T627 - 1997《电力系统用常温固化硅橡胶防污闪涂料技术条件》。

3 应用说明

本产品为各种电压等级电瓷或玻璃绝缘子的防污闪涂料，能显著提高交（直）流电气设备外绝缘的污耐受水平，适用于电力系统、化工、电气化铁路、钢铁、矿山等行业输变电的电气设备。

4 效益分析

这是一项行之有效的低投入、高可靠性的防污闪技术措施。使用环境包括沿海和内地各种电压等级、各种污区和各种污染源。使用后所产生的经济效益、社会效益十分显著。

5 合作方式

技术转让，委托代理。

分布式能源发电

1 成果简介

目前广泛采用的常规供电方式，由于电力负荷的迅速增长，必须建设一个以大容量发电机组为主要电源的超高压特大电力系统来保证供电的可靠性和稳定性。这种供电模式的固有缺点日趋明显，如能源利用效率低，环境污染（废水、废气、废渣排污、噪声、电磁干扰、核污染等）严重。电网建设中的占地问题、线路和建筑物、树木的矛盾以及对景观的影响等矛盾日益突出。电网发生重大事故时无法对重要用户保障供电等，因此需要建设一批分散布置的微型电站和小型分布式发电机组作为大电网的辅助和补充，一般称为分布式发电装置（简称分布式电源）。在一些发达国家，电网已接近饱和，分布式能源的比例逐年增加，在我国未来这类新型电源也将会成为电力系统的主要发展方式之一。发展小型分布式发电系统并与电网并网可以有效的节约国家能源，是环境保护的需要，可作为电力发展的重要补充。

但是由于分布式电源并网的相关技术缺乏研究，我国对新能源政策的指导不明朗，缺少监督管理的相关条例，在实际运营中的配套市场不规范，电力行业集中的特性影响了分布式能源的进入等因素极大的限制和延缓了分布式发电作为新产业在中国的发展壮大。因此针对中小型分布式运行、发电、并网等综合性问题，开展科学、谨慎、积极地探讨、制定相应的对策是迫在眉睫的战略决策，这将能带动投资、发展经济、加强环保，为我国全面建设小康社会做出积极的贡献。该研究具有重大的理论意义和实用价值。

分布式电源通常是指分散布置在电力负荷附近的、容量在数千瓦至数十兆瓦之间的、为环境兼容的、节能的发电装置。如燃气轮机、内燃机、太阳能电池、燃料电池、风力发电等。

2 应用说明

本研究室可就分布式电源并网运行检测和评估、分布式电源并网对电力系统的影响分析等科研项目进行合作，具体内容如下。

（1）承担中小城市、工业园区、科技园区、小区的分布式发电系统并网方案设计，包括分布式发电接入电网方式、负荷匹配和继电保护配置、电压调整策略等并网条件。

（2）通过对分布式发电系统本身技术及其各种运行方式下的指标的测

试，或根据典型分布式能源发电的经验，提供对设备的整体可靠性、安全性以及对电网的危害程度的评估。

(3) 通过具体数学建模和时域仿真计算，提供分布式发电对电网稳定性、电能质量、无功补偿影响的分析。

(4) 提供测试设备对分布式发电并网运行点的电能质量进行测试和监测，提交分析报告。

(5) 提供分布式发电入网的审批、投资、建设、入网许可等方面政策或条例的咨询；

(6) 给予分布式发电并网运行与电网之间的交易模式分析以及电价政策的咨询。

3 合作方式

面议。

电力运行管理系统

1 成果简介

本系统是一套集工作票、操作票（包括微机五防闭锁装置）、设备状态检修评价功能于一体的综合智能管理系统。

在变电站一次接线图、二次设备图上进行模拟操作，生成相应的工作票和操作票，并相应生成闭锁装置程序，可以进行模拟演习、培训测试，具有五防智能检查、声光报警功能，图形、数据库具有网络功能和当地功能，且能与 MIS 系统接口。

设备状态检修评价系统就是以电气设备离线检测为主，结合设备运行情况对设备进行综合的分析、判断的一个计算机专家服务系统，它能结合电气设备的各有关参数，将出厂值、交接值和历次试验值与标准值相比较，与历史数据比较、与相同设备比较，结合运行情况、电网故障，内外过电压及保护动作进行综合的分析判断，正确判别电气设备的状态参数，发展趋势以及应采取的措施等，为电气设备的状态检修提供依据。并预留在线检测接口，为今后的发展提供支持平台。

2 技术特点

(1) 统一开发平台

本系统是在一个强壮、易于扩充、分布式、开放式的综合开发平台的

基础上进行开发的，容纳电力运行管理所需的多个系统。各个系统的数据进行集中管理，便于数据的更新、备份和维护，各个系统之间可以充分的进行数据的共享，便于用户使用。

（2）跨平台的兼容性

本系统采用与平台无关的技术开发，系统可以在多种不同的硬件和软件之上运行使用，工作人员可以使用多种不同的硬件平台，例如：X86、SPARC 等，以及不同的操作系统，例如：WINDOWS、LINUX、UNIX、SOLARIS 等。

（3）更新维护的自动性

本系统采用国际流行的 B/S(BROWSTOR/SERVER 浏览器/服务器)结构。该结构的特点是只需将应用程序安装在服务器端，客户端登陆服务器，自动下载工作所需的各种客户端运行程序，并自动完成应用程序的各种更新与维护，界面为通俗易用的浏览器，通过对服务器端的更新与维护，就能达到更新与维护各变电站客户端的作用，具有维护与更新成本低，简单有效的特点。

（4）数据共享

本系统充分考虑到工作人员现有的软硬件资源，为现有的系统提供了充分的数据接口，可以与运行管理中使用的 MIS 等系统进行数据交流，实现数据共享，降低数据维护的成本，避免数据的重复录入，减少工作人员的劳动量，并可以最大限度的挖掘使用现有系统之间的数据。

（5）采用最新的 Java web start 技术

基于电力公司现有的计算机系统情况和多样的工作平台，以及电力系统本身地域分布的特点，本系统采用适用于创建服务器应用程序和服务的 Java2 平台企业版 (Java 2 Platform Enterprise Edition , J2EE), 实现 B/S 的功能结构。Java web start 是一个与 Web 浏览器相关的应用。当用户点击指向一个特定启动文件(JNLP 文件)的超级连接时，将促使 Web 浏览器启动 Java Web Start , Java Web Start 将自动下载、缓存以及运行给定基于 Java 技术的应用。这整个过程除了最初的点击以外，将不需要任何的用户干预。从技术的角度来看，Java Web Start 技术有多种关键优点，使之成为进行应用部署的平台。Java 平台已经被证实是极具鲁棒性，高效，多用途的开发平台，通过最少化开发和测试成本来节省成本。Java Web Start 支持 J2SE(Java 2 platform, Standard Edition)的多个修正版本。Java Web Start 允许在浏览器环境之外启动应用。在不方便或者不可能通过浏览器启动的条件下，能够

对应用进行离线运行。应用程序也能够通过桌面快捷方式来启动，这样将使得启动一个基于 Web 部署的应用程序象启动本地应用程序一样简单。

(6) 具有一套功能齐全的图形界面

具有一套适合变电站需要、绘图方便、可以操作的图形界面，其中包括变电站中主要一二次设备的图形符号，可以随意移动、放大缩小、自由连接。利用这种图形界面画成的电气接线图一旦完成，其元件间的拓扑关系已自动输入计算机内。图形上的开关刀闸都可以用鼠标操作，操作引起的拓扑变化也自动输入计算机内。同一电厂、变电站的一二系统图，三个系统可供用。

3 合作方式

面议。

高压开关设备在线监测与故障诊断系统

1 成果简介

高压开关设备是电力系统中重要的控制和保护设备。高压开关设备中断路器的任务是根据电网运行的需要，把电力设备或线路投入或退出运行，或者将发生故障的电力设备或线路从电网快速切除，以保证电网中无故障部分正常运行。一旦高压开关设备出现故障，就可能造成电力系统的事故，给用户造成经济损失。到 1997 年底我国电力系统中运行的 7.2~550kV 电压等级的断路器共 229965 台。1989~1997 年高压开关年平均增长率为 7.46%。在所有的开关设备中，12kV 电压等级的数量最多，约占总数的 2/3。

1990~1999 年全国电力系统配电电压等级开关事故的统计数据见表 1-1。各种类型故障所占的比例由多到少依次为：绝缘 37.3%、机械（包括拒分、拒合、误动）33.3%、外力及其它 10.6%、开断与关合 10.0%、载流 8.9%。可见机械和绝缘是高压开关设备故障的主要原因。

表 1 1990~1999 年全国电力系统配电电压等级开关事故的统计数据

事故类型	拒分	拒合	开断关合	绝缘	误动	载流	外力其它	总计	百分比 (%)
6~10kV	200	27	131	370	27	130	131	1016	63.2
35 kV	66	21	11	157	11	9	16	291	18.1

66 kV	1	0	0	3		1	0	5	0.3
110 kV	33	30	14	46	39	1	17	180	11.2
220 kV	31	12	4	23	37	2	7	116	7.2
总计	331	90	160	599	114	143	171	1608	100
百分比 (%)	20.6	5.6	10.0	37.3	7.1	8.9	10.6	100	—

目前，针对开关设备故障采取的预防措施是定期检修，但定期检修的效果并不令人满意。国际大电网会议 CIGRE WG13-06 分别在 1974-1977 年和 1988-1991 年对世界范围内的高压断路器的可靠性进行了两次调查，结果表明：分别只有 6.1% 和 4.7% 的主要故障、13.7% 和 25.1% 的次要故障在例行检修中被发现；而同时有 2.8% 和 8.1% 的主要故障、2.6% 和 4.5% 的次要故障是由于不正确的修理造成的。事实说明，定期维修对于故障的发现并不很有效，存在着很大的弊病和不足。而与此同时，现在变电站半数以上的维修费用用于断路器，其中 60% 用于断路器的大修。因此如何减少维修费用同时又能够及时有效地发现故障前兆是电力部门和用户需要解决的问题。

高压开关设备在线监测与故障诊断系统以设备当前的实际工作情况为依据，通过在线监测与诊断手段，识别故障的早期征兆，对故障部位、故障的严重程度及发展趋势做出判断，从而确定最佳的维修计划，实现状态维修。采用本系统可以节省维修费用、延长设备的使用寿命、保证供电的可靠性、降低维修风险。

目前市场上已经出现针对高压开关设备的在线监测装置，如 ABB、西门子、施奈德等国际知名公司都在其部分开关柜产品上配备了此类装置。国内也有一些公司推出了此类产品。但总体来说，大都功能单一，集中在不多几项的监测项目上的较多，且没有故障诊断功能。清华大学电机系电气设备及智能化实验室研制的高压开关设备在线监测与故障诊断系统，不仅能全面实时的监测高压开关设备的状态，还能够根据测得的数据进行故障诊断，使用户实时、全面地掌握开关设备的当前状态以及故障发展趋势。

开关柜内环境恶劣、绝缘材料和器件选择不当是绝缘故障的主要原因。操动机构和传动系统的故障以及电气控制及辅助回路的故障是造成拒分、拒合和误动故障的主要原因。灭弧室绝缘强度下降及电磨损超限是开断与关合故障的主要原因。载流故障的主要原因是开关柜隔离触头接触不良造成触头过热、烧融以致引弧。

高压开关设备在线监测与故障诊断系统监测的内容有：

- (1) 断路器工作的环境条件（与绝缘故障相关），温度、湿度等。
- (2) 断路器的机械特性（与机械故障相关），分/合闸线圈操作电压和电流、动触头行程、分/合闸时间、分/合闸速度等。
- (3) 断路器的电气特性（与开断、关合故障相关），开断电流大小、触头电磨损程度及灭弧室的剩余电寿命、真空灭弧室真空度、SF6 气体密度等。
- (4) 操动机构状态（与机械故障相关），储能电机的电压和电流、液压油压力、储能动作次数等。
- (5) 导体发热（与载流故障相关），隔离触头的温升等。

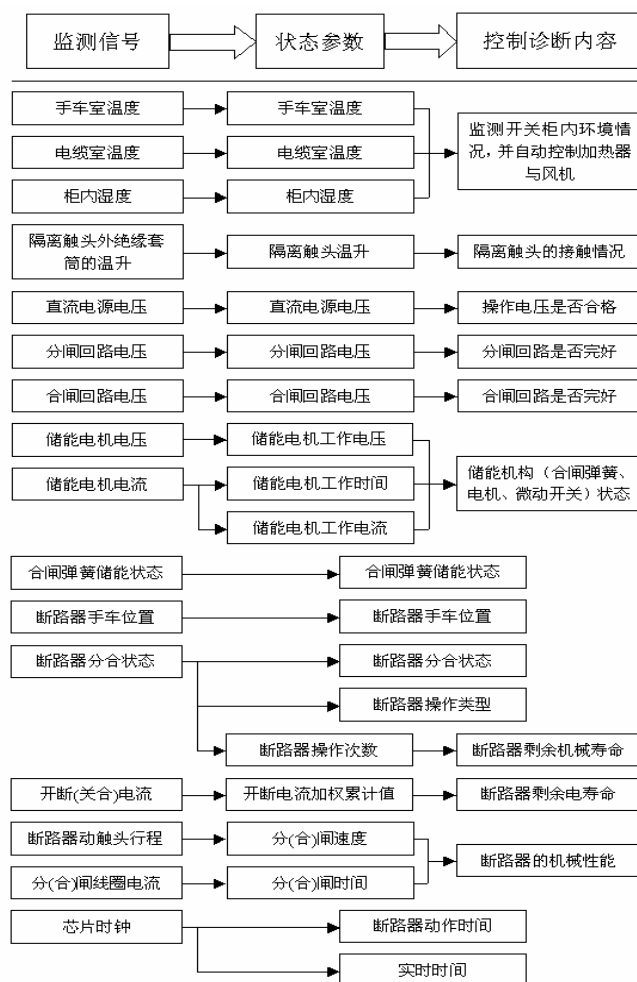


图 1 应用于高压开关柜时系统的示意图

高压开关设备在线监测与故障诊断系统的功能有：

(1) 在线监测

这是本装置的一个基本功能，即实时的多路信号采集。

(2) 故障诊断

对采集到的信号进行分析处理，判断开关柜的运行状态。

(3) 系统自我校验

(4) 参数设定

用于设定不同情况下系统运行所需的状态参数以及故障诊断所需的数据。

(5) 图形显示

显示最近操作中所采集到的信号波形。

(6) 数据显示

显示断路器最近动作时的相关数据。

(7) 状态指示及报警

通过发光二极管及蜂鸣器指示相关状态及发出报警声音。

(8) 网络通信

通过以太网实现现场监测装置与控制中心计算机之间的数据交换，将监测数据上传进行数据整理保存，也可在控制中心对监测装置进行控制和调整。

2 技术指标

高压开关设备在线监测与故障诊断系统现已达到的技术指标：

(1) 数据测量精度

采用 12 位 AD 转换芯片，可以控制误差在 $\pm 0.1\%$ 。

(2) 工作环境

温度： $-25 \sim +70$ 。

湿度：相对湿度不超过 95%。

(3) 电磁兼容水平

电快速瞬变脉冲群、雷击浪涌、静电放电、工频电场、工频磁场等，

4 级（通常继电保护装置为 3 级）。

3 应用说明

目前已先后和北京某电气公司及河南某公司进行了合作，分别研发了 10kV 开关柜及 110kV GIS 在线监测及故障诊断系统，样机测试合格。

4 合作方式

面议。

厂站培训仿真系统

1 成果简介

清华大学电机系厂站仿真室成立于 1985 年,是国内最早专门从事电网、水电厂、变电站计算机仿真的科研单位,是国家“电力系统及发电设备安全控制和仿真”重点实验室的一部分。目前正在参与中电联行业标准《变电仿真培训系统技术功能规范》的起草工作,作为研制和采购变电仿真培训系统的依据。

系统特点:

(一) 仿真机的设计遵循原理性、实用性、先进性的基本原则,仿真范围广,功能齐全。

(二) 仿真技术采用了几项决定仿真机技术水平、档次的关键技术:

(1) 分布式图形化的建模和运行支撑平台。易于开发、便于维护、升级方便。用户可以方便地在图形平台上搭建自己的一次系统,完成一次系统的建模;在图形平台上完成继电保护等二次系统的建模;或者跳过保护建模步骤,直接利用保护库中的保护组件完成保护配置。

(2) 严格、准确的电力系统数学模型。它以规范化的机电暂态模型为基础,同时能完成中长期动态过程仿真计算。动态元件模型和电网模型联立求解(联立求解微分方程和代数方程),能够真实、全面地描述电网的稳态、准稳态和机电暂态行为。算法速度快,实时性好。

(3) 实时故障计算采用了清华大学提出的规范化的计算方法,能够求解各种复杂故障和组合故障(包括并架多回线间的跨线故障)。

(4) 良好的鲁棒性和实时性。在长达数小时的培训过程中可能出现多次的故障处理培训,“正常运行—故障状态—故障恢复”的过程会反复出现,只有正确描述电力系统的动态过程才能实现长时间持续的仿真和培训,快速的规范化的仿真算法才能满足实时性的要求。

(5) 能够准确仿真扰动发生时刻和其后时间内继电保护及自动装置的动作情况。

(6) 先进的图形用户界面技术。结构简洁, 开发容易, 缩短开发周期, 保证软件质量。用户还可以通过它自行定制和修改仿真一二次设备的图形界面。

(7) 仿真综合自动化变电站的监控系统, 其界面和操作方法与实际系统一致。

(8) 多媒体图象、声音与仿真过程同步, 产生逼真的仿真效果。

(9) 基于 3D 技术的变电站现场环境仿真, 完成现场设备的操作和巡视。

(9) 开发了基于 Web 技术的远程培训软件, 实现了网上远程教学和答疑功能。

(10) 先进而高质量的硬件系统。

系统类型：

(1) 多机网络型

由多台微机组成局域网, 根据功能分为教员台和学员台。可以分为带硬盘台系统(与现场相同的控制屏、保护盘)和纯软件系统(只有计算机)。

(2) 远程网络型

学员机可以分布在网络内的任何地方。网络内设一台或多台服务器, 完成教员机的功能, 同时可以提供 web 服务, 完成视频授课、视频点播、在线答疑等功能。

服务器可以查看当前连接到服务器的客户端 ID、客户机 IP 地址和服务服务器上相应进程 ID。

服务器对客户端学员的管理: 强制结束某个客户端的培训服务、通过控制台软盘台监控客户端的控制台软盘台、设置某个客户端为主动模式(学员自学)或被动模式(考核)。

主动模式下, 客户端有完全的权限, 可以进行各种操作并且设置故障。

被动模式下, 客户端的权限仅限于对元件的操作, 只有服务器可以设置故障。

通过设置不同的运行模式, 教员可以让客户端学员自学或者对学员进行考核。

(3) 单机型

由一台微机装入仿真软件即可组成单机型仿真系统。单机型硬件简单, 投资少, 仿真系统的功能与多机网络型是一样的, 只是在培训过程中缺少了教员的干预与控制, 完全由学员自学培训。

仿真范围：

进出线路、母线、变压器、电容器、电抗器、调相机、CT、PT、开关、刀闸、接地刀闸、同期并列装置、控制、测量、继电保护和自动装置、中央信号系统、微机监控系统、直流系统、照明系统、所用电系统等

此外，变电站是电网的一部分，因此变电站仿真不仅要考虑自身的详细模型，而且要考虑周围电网的模型对变电站仿真的影响。

培训功能：

可提供连续、实时的仿真运行环境。由于采用了严格准确的、适合于全工况的数学模型，可以提供全工况、全方位的培训。包括正常操作，事故、异常情况的处理。

正常运行工况培训：

(1) 监盘和抄表

主控室的中央信号屏、控制屏、站用交直流等的电压、电流、有功、无功、频率、并列时的频差、压差、角度差，信号指示灯、光字牌。

(2) 操作

对断路器、隔离开关、接地刀闸以及二次回路上的各种刀闸、按钮、连片、切换压板、电流端子、熔断器等进行操作，各种操作受控部分的仪表、信号灯及位置指示器均实时响应，且在屏幕上也同时显示。

(3) 巡视

按照部颁与现场制定的运行规程对仿真变压设备（变压器、断路器等）所立项目的巡视，可利用多媒体技术调出所需设备的图像和声音，并附加文字说明。在实际设备视景图像上，识别设备运行的正常或异常。如变压器、电抗器的油温、油位、油色、吸潮剂颜色、高低压引线接头是否发热、冷却系统运行情况，电容器的外壳有无变化，熔丝、接头、套管是否完好、有无渗油等。

非正常运行工况培训：

本仿真机可实时地仿真各种非正常工况(或称之为故障工况)，系统和自动控制系统均能反映真实的故障过程。仿真机的故障可以由误操作自然引发(即事件触发)和由教练员加入(即人为设定设备故障)。

(1) 异常运行，声光告警显示

各运行方式的开关控制把手的切/合位置，代表开关位置的红、绿指示灯的状态；

与设备运行状态相关的各种仪表指示，如电流、电压、频率、有功、无

功、变压器温度、分接头位置、直流电压及电流、正负极对地绝缘电阻等；
中央信号所属的有关故障、事故的各种信号、指示灯、光字牌；
保护盘上有关的压板、切换连片、表计、指示灯、信号继电器信号等。

(2) 误操作事故

误操作事故仿真是随机的、实时的，若一旦发生误操作，系统则立即响应，不需要事先设置。

误操作项如下：

误拉、误合断路器；

带负荷拉、合刀闸；

带电挂地线，或带电合接地刀闸；

带地线合闸；

非同期并列；

不按正常倒闸操作的次序而引起的事故扩大。

防误措施按现场的功能仿真，但防误措施可以由教练员暂时取消，使学员可以观察到误操作后果。

(3) 事故设置

通过设置事故，可以培训运行人员如何处理事故。运行人员通过正确的操作可缓和事故的影响或恢复系统正常运行，若处理不当，则将造成故障扩大。

设置事故分线路、变压器、母线、断路器、直流系统等五个方面。在设置的事故中其类型（如相间短路、接地短路、三相短路、两相接地短路、单相断线）、性质（永久或瞬间）、地点（线路从首末端、反方向，下段线路的首端等）可以任意排列组合，同时还可以与断路器、继电保护及自动装置误动、拒动排列组合。

2 合作方式

面议。

电力市场交易系统

1 成果简介

电力市场交易系统是以网省电力公司及相关发电供电企业为运作对象，为保证电力市场公平、公正、公开和高效有序的运行，由计算机设备、数据通信设备及相应软件组成的一个集成化开放式系统。该系统既是一个

实时运行系统又是一个信息发布系统，它在现有的 SCADA/EMS 系统及 TMR 系统提供电网实时运行工况和电量计量数据的基础上，按照竞价上网的原则，在满足电网各类约束条件的前提下，以全网购电成本最小为目标，完成机组组合、机组经济分配、系统分时段边际电价的计算和安全校核，并按照市场运行规则对各单位进行考核结算，将发电供电计划、电价、运行考核结果、电量电费结算报表等实时发布。

电力交易管理系统基于一个统一的数据库管理各项数据。电力交易综合数据库将选用商用网络数据库（如 ORACLE、Sybase、SQL Server 等）以保证数据的一致性和安全性。SCADA、EMS、电能量计量系统和结算系统模块的数据定期地更新电力交易综合数据库，以便及时地向其他模块提供所需的有效数据，并供电厂和供电公司查询。只有将 SCADA、EMS、电能量计量系统和结算系统的数据送入商用数据库，才能通过浏览器查询。

电力交易综合数据库储存了各机组和线路的参数，记录了相应时期的负荷曲线和地理分布、机组各时段的出力和发电费用、各输电线各时段的潮流；记录各电厂的竞价上网曲线，日负荷预测曲线，各机组的合同和实时电价。通过数据管理模块来实现与外部的接口，提供各种类型、不同权限的数据录入、查询、显示和报表的打印、显示，以及各种曲线的制作等数据操作功能。

短期交易计划是由电网调度中心根据公布的负荷预测及发电企业的数据申报，在满足电网安全约束条件下做出的计划，包括交易日各个交易时段向发电机组预计购买的发电出力计划及辅助服务计划。短期交易计划必须满足电网安全、稳定运行的条件。

短期交易计划应在满足机组及电网约束的前提下，以电网计划交易日上网电量购电费最小为目标；任何交易时段，电网总发电出力的调整速度应满足总负荷变化速度的要求。短期交易计划的编制经过无约束发电出力计划和约束发电出力计划两个阶段。

2 合作方式

面议。

电子束烟气净化

1 成果简介

在烟气净化技术中，本实验室除了拥有具有自主知识产权的电子束半干法同时脱硫脱硝技术外，还从事氨法和石灰石 - 石膏法烟气脱硫工程。电子束干法烟气同时脱硫脱硝工艺正在山东省某热电厂（烟气量 31 万 Nm^3/h ）实施，该电厂烟气同时脱硫脱硝是国家“863”项目的示范工程。氨法脱硫工艺已在北京市经济开发区某供热厂（烟气量 25 万 Nm^3/h ）完成，脱硫除尘完全达到了北京市时段的要求。石灰石 - 石膏法工艺目前正在多个电厂进行可行性研究和初步设计工作。本实验室拥有处理烟气量 1 万 Nm^3/h 的综合性实验室，可进行多种脱硫工艺的开发研究，为发展先进的烟气净化技术打下了良好的基础。

2 合作方式

面议。

循环流化床煤气 - 热 - 电“三联产”技术

1 成果简介

循环流化床煤气 - 热 - 电“三联产”技术，是将循环流化床锅炉技术和煤炭热解、气化技术有机地结合而发展的一种新工艺，在生产热、电的同时还可以生产出可供城市居民使用的中热值煤气。

联产锅炉生产煤气与传统煤制气工艺相比有两大特点：一是气化设备采用的是循环流化床，二是煤的气化是部分气化、而不是全部气化。将循环流化床锅炉与煤炭热解、气化生产工艺相结合，利用循环流化床锅炉内存在的大量高温固体循环物料作为煤炭热解、气化所需要的热源，同时将后者产出的焦炭作为前者的燃料，便可以将两个各自独立的生产工艺过程有机地集成为一体，形成煤气 - 蒸汽联产工艺；在此基础上，利用产出的蒸汽进行发电、供热，便形成了煤气 - 蒸汽（热） - 电“三联产”工艺过程。

联产锅炉所用煤分为燃烧用煤和气化用煤两部分。燃烧用煤占联产锅炉总耗煤量的 26%，气化用煤占联产锅炉总耗煤量的 74%。该工艺对煤的要求相对较低，对煤的灰份和粘结性限制不大，一些挥发份含量较高的烟煤和褐煤、包括含灰量较大的劣质煤均可以作为联产锅炉用煤。气化室内

煤的气化所需要的热量来自于高温循环物料，联产炉能否正常运行主要取决于能否组织起稳定、大量的高温物料的循环。为此，除了需要选择合适的燃料粒度和燃烧室内烟气流速以保证烟气有足够的扬析、夹带能力之外，还要精心设计分离器、滑阀和U阀这三个关键部件。分离器对于循环物料的组织起着十分关键的作用。

为了减少煤气中的含尘量，在燃烧室顶部的卧式漩涡分离器中还专门设置了用于捕捉细灰料的端涡分离器，被捕捉的细灰可以经由下料管回送至燃烧室底部重新燃烧。

1991 ~ 1992 年清华大学试验电厂建立了一个能够处理 150 Kg/H 的循环流化床煤燃烧、气化小型热态试验装置。获取了大量宝贵的试验数据，例如，对不同的煤种和气化条件，每公斤煤（应用基）可产出煤气 0.23 ~ 0.28 NM^3 ，煤气热值高于 13000KJ/ NM^3 ，煤气中一氧化碳的体积含量低于 15%，产出的煤气可用作工业或民用燃料。1995 年，循环流化床煤气 - 热 - 电“三联产”工业试验工程被正式列为国家“八五”（滚动至“九五”）重点科技攻关项目。

2 应用说明

该工艺具有煤种适应性强、制气效率高、节能效果显著等特点，提高了煤的综合利用效率。对污染物的控制和处理更加方便，因此它是一项新型的煤清洁利用技术。利用该技术生产煤气，有利于在中、小城市中加速实现民用燃料的煤气化，进而可以大大改善环境污染状况。预计此技术应用前景广泛。

3 效益分析

在联产工艺中只需要在循环流化床锅炉的基础上新增加一个结构简单的气化室，便可以进行中热值煤气的生产；而且，煤气中 CO 含量较低，不需要增加甲烷化工艺，使得利用此工艺生产煤气的初投资和运行费用较低。经过投资估算对比，利用此工艺生产单位热值煤气的初投资，仅为两段炉煤气工艺的一半，显然此技术具有很好的经济效益。

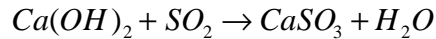
4 合作方式

面议。

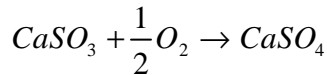
半干法循环流化床烟气脱硫技术

1 成果简介

该技术适用于燃煤火电厂锅炉和其它含硫燃料锅炉的烟气脱硫，也适用于冶金和建材行业的窑炉、垃圾焚烧炉的尾气脱硫和其它有害污染物的脱除。该技术的工艺流程如下：需要处理的烟气进入反应器，在反应器的入口对其进行喷水降温，反应器内有一定浓度的飞灰颗粒，石灰浆经过双流体雾化喷嘴从反应塔底部雾化喷入烟气，水分的蒸发使烟气温度降到接近对应烟气的露点温度，烟气与石灰浆滴及其它固体颗粒充分接触，烟气中的 SO_2 与固体颗粒中的氢氧化钙进行了强烈的化学反应。其主要化学反应如下：



部分 $CaSO_3$ 被氧化，反应为：



同时烟气中的 SO_3 、 HCl 及 HF 等酸性气体也可以被脱除。反应产物 $CaSO_3 \cdot 1/2H_2O$ ， $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ， $CaCl_2$ ， CaF_2 与飞灰及未反应的氢氧化钙混合在一起。当烟气流到达脱硫反应器的顶部时，固相中的水分已经完全蒸发为水蒸气，固体颗粒呈干态，烟气与干燥的固体颗粒一起离开反应器，进入旋风分离器，在此气固两相流中的大部分固体颗粒被分离下来了，分离下来的固体颗粒（包括未完全反应的 $Ca(OH)_2$ ），通过 L 型阀重新返回到脱硫反应塔，干净的烟气经过脱硫风机进入电除尘器或布袋除尘器。固体颗粒的返回对提高脱硫剂的利用率和脱硫效率起到了非常重要的作用。

通过在清华大学试验电厂建立了能够处理 $20000Nm^3/h$ 烟气的示范装置，进行了两个供暖季的工业规模的脱硫试验，试验时烟气中 SO_2 原始浓度范围 $300 \sim 1500ppm$ ，测试结果表明： $Ca/S=1.3$ 时，该脱硫装置的脱硫效率达到了 85.3% ； $Ca/S = 1.94$ 时，脱硫效率达到了 96.5% 。通过工程试验，对该工艺的主要运行控制参数有了清晰的了解，如入口 SO_2 浓度、近绝热饱和露点温度差、床内固体物料浓度、钙硫比等对脱硫效率的影响。目前该技术已经通过了教育部科技成果的鉴定并申请了国家专利。

2 应用说明

目前该技术已经开始进行商业应用，宁夏银川热电厂 $150T/h$ 电站锅炉

的烟气处理项目使用了该技术，在试运转期间，连续运行了 168 小时，脱硫效率达到了 90% 以上。同时，该技术还应用在许昌 75T/h 垃圾焚烧炉的尾气处理项目上，目前机组正在进行冷态调试，此外，该技术中标的项目还有濮阳热电厂 75T/h 垃圾焚烧炉和齐鲁石化 2×100MW 发电机组。

3 效益分析

投资成本低，与湿法相比成本要降低三分之一左右；占地面积小；反应器烟气与脱硫剂之间的传热传质速率高；脱硫剂在反应器内的停留时间长；脱硫效率高，对于中低硫煤，完全可以胜任使排放的 SO₂ 浓度达到环保标准要求。

4 合作方式

面议。

垃圾清洁焚烧及综合利用

1 成果简介

随着经济的高速发展，人民的生活水平迅速提高，城市化进程不断加快，我国城市垃圾产生量急剧增加，且增长势头不减。目前，我国城市垃圾年产生量已达 1.4 亿吨，人均垃圾产生量在 450~500 公斤左右，并且还在以每年 8~10% 的增长率不断增加。目前，我国的城市生活垃圾进行无害化处理尚不足垃圾总量的一半，而且已经建成的垃圾处理设施有相当部分达不到国家环保标准。无论是在大城市还是小城镇，我们都能看到垃圾遍地的情况，有些城市已达到了垃圾围城的地步，这与我国经济蓬勃发展的大好形势是不相称的。

我国城市垃圾的处理处置水平一直很低，多年来，绝大部分城市采取露天堆放、自然填沟和填坑等原始方式消纳城市垃圾，河流沿岸甚至成了天然垃圾堆放场。这种处理方式对土壤、河流、地下水、大气等都造成了严重的影响和潜在的危害。我国城市垃圾无害化处理设施缺乏，大多数城市的垃圾对环境的污染日趋严重。

所有这一切，都表明对城市垃圾实施有效的处理，改善城市卫生环境已迫在眉睫，刻不容缓。近年来，世界上许多国家都在开发垃圾资源化技术，其中，垃圾焚烧处理及综合利用是实现垃圾无害化、减量化和资源化的最为有效的手段，具有良好的经济效益和社会效益。而我国目前垃圾焚

烧仅占整个垃圾处理量的 2%，而且绝大多数焚烧设备都存在着处理规模小、技术落后、燃烧不完全、排放不达标等问题，国外垃圾焚烧技术较为成熟，但其焚烧设备价格非常昂贵，且由于我国的垃圾没有进行分类收集，垃圾的水分和无机物含量高，致使垃圾的热值及品质较低，从目前引进的国外焚烧设备看，运行效果并不理想，垃圾焚烧不充分，加入的辅助燃料较多，运营成本较高。根据我国的经济水平发展和我国垃圾品质，目前还不宜大规模引进国外的垃圾焚烧设备。因此，我国目前急需开发出适合中国国情、高效率、低成本且能达到工业化规模的垃圾焚烧技术和焚烧设备。

清华大学从 1994 年开始，对垃圾无害化处理及资源利用进行了深入细致的研究，结合几十年的燃烧机理研究成果，在充分分析我国垃圾品质的基础上，成功研发出一套低成本、适合中国国情的城市生活垃圾清洁焚烧及综合利用专利技术，该项技术以循环流化床焚烧技术为核心，配以特殊的进料和排渣系统，并对排放物的污染进行了有效地控制。该项技术拥有完全的自主知识产权，已获得的专利有六项。研究组应用该技术为北京市建成了一座日处理 300 吨生活垃圾的焚烧供热厂，该厂为北京市第一座大型垃圾焚烧厂，也是我国第一座全部采用自有技术和国产设备建成的大型垃圾焚烧厂。目前，研究组承担着长春垃圾焚烧发电厂的建设任务。

2 技术指标

我们开发出的城市垃圾清洁燃烧及综合利用技术，在技术上可以达到国内先进水平，排放指标可以达到或接近目前欧共体的水平。与其它焚烧系统相比，本技术的主要优点可概括为以下几个方面：

（1）特殊的进料系统

中国绝大多数城市中没有实行垃圾分类制度，因而垃圾焚烧厂收到的垃圾成分极为复杂。目前还没有充分有效的手段能够在炉前对垃圾进行分选和破碎。由于垃圾中含有一定数量的大尺寸垃圾（其中不排除金属、砖石等不可燃物），因而在垃圾焚烧过程中遇到的第一个问题是进料及排渣问题，即要求焚烧炉“吃得进、吐得出”。炉排炉的进料和排渣都不存在问题，但是流化床则存在一定的困难。清华大学设计的垃圾焚烧炉采用特殊结构的送料器来解决进料问题。

（2）合理的燃烧组织

该技术充分考虑到中国生活垃圾的特点，根据其燃烧特性安排炉膛结构，保证垃圾的烘干、燃烧、燃尽都在炉内完成；同时考虑到垃圾品质多变的情况，增加了煤助燃系统，在保证垃圾焚烧量的情况下，用给煤量和

炉内物料循环控制炉内温度，使炉膛出口温度大于800℃（通常在850℃—900℃之间），总体上很好地实现了垃圾焚烧的“3T”原则，为垃圾处理的无害化和减量化奠定了基础。

（3）适宜的受热面防腐措施

垃圾焚烧在锅炉高温、中温及低温区都存在严重的腐蚀问题，高温区以碱金属液相腐蚀为主，中温段有氯化物腐蚀问题，低温段则存在酸性气体的结露腐蚀。腐蚀问题直接影响到焚烧设备运行的可靠性和运行经济性。该技术对锅炉受热面进行了特殊处理，空气预热器进行了特殊考虑，其他易腐蚀部位都采取了相应的措施，这对保证垃圾焚烧炉的安全及寿命均十分重要。

（4）有效的污染控制

流化床燃烧技术本身就可以实现炉内脱除氯化氢和脱硫，同时它还是一种实用的低NO_x燃烧技术。通过在炉内脱除污染成分，同时在焚烧装置尾部采取一定的措施，可以有效地控制烟气污染物的排放浓度。通过在炉内合理组织燃烧，杂环类有机物在高温下充分分解，若在飞灰中存留少量有机类有害物质，将通过飞灰高温再燃处理，这样保证了其中的有机类有害物的排放达到相应的国际标准。

（5）变废为材的灰渣综合利用

对焚烧炉排放的灰渣经过磁选将其中的铁金属分离回收后，经简单破碎，可以成为水泥和制砖的原料。当然对焚烧后的灰渣成分要进行分析，对有害成分要先行分离。

（6）高标准的排放指标及有关设计参数

我们的技术不仅体现在焚烧炉上，而且体现在与之相匹配的一套完整的工艺系统。我们在开发垃圾焚烧及综合利用技术时，国内尚未制定生活垃圾焚烧污染控制标准，故参照欧洲的污染物排放标准进行技术开发和工程设计。2000年2月29日我国颁布了《生活垃圾焚烧污染控制标准》（该标准于2000年6月1日实施），经过对朝来农艺园垃圾焚烧厂排放物的验收测定，排放指标完全达到了国家标准，个别指标甚至低于欧洲标准。

3 效益分析

工业发达国家有着多年的焚烧垃圾的经验，无论是在技术上，还是在设备上都比较成熟。但是，其工程造价却很昂贵，引进一套（两台）日处理能力为600吨的垃圾焚烧发电厂，需投资约4.5亿元人民币，这对中国大部分城市来说都是难以接受的。而我们开发出的垃圾清洁焚烧及综合利用

的工程成本仅为国外设备的 50% 左右，具体对比如下：

日处理能力 (吨)	规格	引入国外设备的工 程造价 (亿元)	利用我们技术的工 程造价 (亿元)
1000	3 × 350t/d 锅炉 2 × 6MW 发电机	6.5 ~ 7.0	3.3 ~ 3.8
600	2 × 300t/d 锅炉 2 × 4.5MW 发电机	4.5 ~ 5.0	1.8 ~ 2.0

而由于我国此前缺乏垃圾焚烧的成套技术，加之国外设备的价格较高，使得垃圾焚烧在我国的推广一直很缓慢。我们技术的成功推出，将大大降低垃圾焚烧发电厂的造价，使得在我国大范围推广垃圾焚烧及综合处理成为可能，因而具有较强的市场竞争能力。

而我们在充分分析中国垃圾特性的基础上，经过多年的实践研究开发出的城市垃圾清洁焚烧及综合利用成套技术，突破流化床锅炉中的难点和关键问题。从示范工程运行结果看，效果非常理想：垃圾只经过简单的预处理（将大块的不可燃垃圾分拣出去），可以直接投放到锅炉中燃烧；燃烧较为彻底，垃圾减容超过 90%，燃烧的残渣可以用来做建筑材料；各种排放物达到国家环保标准。由于燃烧组织合理，燃烧充分，加入的辅助燃料较少，因而相比国外设备，运营成本较低，利用我们技术建立的垃圾焚烧厂每处理 1 吨垃圾的成本为 60 元左右（不含折旧）。

进入 90 年代以来，我国城市垃圾无害化处理发展较快，但远远还不能满足要求。1996 年全国共建成各类城市垃圾处理处置设施 874 座，日处理能力约为 234791 吨，垃圾无害化处理仅为 49.1%。我国目前的城市垃圾处理处置技术最常用的是卫生填埋，其次是堆肥化，而焚烧所占的比例很低，其中，卫生填埋占总处理量的 79.2%，堆肥化占 18.8%，焚烧约占 2%。

近 20 年来，国外垃圾焚烧并回收热量发展最非常迅速，欧盟、日本、美国等国家已开始大量应用，并产生良好的经济效益和经济效益。焚烧在城市垃圾处置中的比例有了很大的提高，其中，瑞士的垃圾焚烧比例达到了 80%，日本达到了 74%，丹麦达到了 70%，法国达到了 42%，美国达到了 40%。垃圾焚烧处理及综合利用已成为实现垃圾无害化、减量化和资源化的最为有效的手段。而我国目前垃圾焚烧处理的比例很低，由于我国人多地少，对于这种垃圾处理方式的需求更为迫切。

城市垃圾焚烧处理及综合利用在我国已经受到越来越多的重视，并被国家有关部门明确为近期的产业化重点。

同时垃圾焚烧及综合利用也受到国家财政政策的支持，有关企业在增

值税和所得税受到优惠。

根据我国政府制定的计划，到 2010 年所有城市都要建设符合环境要求的城市垃圾处置设施，使全部垃圾做到无害化处理。据预测，到 2010 年我国城市垃圾的年产生量将达到 2.9 亿吨，按处理比例卫生填埋 50%、焚烧 40%、堆肥 10% 计算，到 2010 年垃圾焚烧的处理能力将达到 11600 万吨/年，如果每个垃圾焚烧厂的日处理量为 1000 吨，则须在全国建设 320 座这种大型的垃圾焚烧厂，按每个垃圾焚烧厂造价 5 亿元人民币计算，这部分市场将达到 1600 亿元。由此可见，在未来的 10 年内，垃圾焚烧在我国具有很大的市场需求，其市场前景是相当可观的。

根据《国家环境保护“十五”计划》，“十五”期间，新增城市垃圾无害化处理能力 15 万吨/日（5475 吨/年）、危险废物安全处置 5000 吨/日、医疗废物安全处置 1650 吨/日，加上工业固体废物综合利用与处置等，共需投资 900 亿元。

为了解决政府环保资金紧张的局面，国家已号召社会资本投资环保产业，对环保产业实行市场化运营，国家给予政策性支持。目前不少国内外资本对投资垃圾处理工程产生了浓厚的兴趣，在建的长春垃圾焚烧发电厂和广州垃圾焚烧发电厂均为民间资本投入。

垃圾焚烧发电厂的投资和运行成本估算：

1、1050t/d 垃圾焚烧发电厂的投资和运行成本估算

利用清华大学垃圾清洁燃烧及综合利用技术建造垃圾发电厂，可以做到初投资小、运行可靠、运营成本低、排放达标，因而具有很好的经济效益和社会效益。对于 1050t/d 垃圾焚烧发电厂（由 3 台 350t/d 循环流化床锅炉组成）的投资概算和运行成本（每年运行 333 天）估算如下：

表 1 1050t/d 垃圾焚烧发电厂投资概算汇总表（3×350t/d）

单位：万元

序号	项目名称	建筑工程费	设备购置费	安装工程费	其它费用	合计	占总项%
1	热力系统	3630	11400	5282		20312	60.3
2	燃料供应系统	1768	1536	565		3869	11.5
3	除灰系统	90	690	294		1074	3.2
4	水处理系统	80	249	118		447	1.3
5	供水系统	472	0	81		553	1.6
6	电气系统	20	654	935		1609	4.8
7	自动控制系统	170	1310	611		2091	6.2

8	附属工程	490	140	30		660	2.0
9	生活福利工程	200	20	10		230	0.7
10	小计	6920	15999	7926	0	30845	91.5
11	其它费用				1458	1458	4.3
12	合计	6920	15999	7926	1458	32303	95.8
13	总预备费	800		600	0	1400	4.2
13_1	基本预备费	800		600			0.0
13_2	材差预备费	0		0			0.0
14	总计	7720	15999	8526	1458	33703	100.0
15	各类费用单位 投资(元/千瓦)	4288.9	8888.3	4736.7	810.0	18723.9	
各类费用占总投资(%)		22.9	47.5	25.3	4.3	100.0	
16	工程基础投资					33703	
17	建设期利息				0	0	
18	价差预备费				0	0	
19	工程总投资					33703	

表 2 1050t/d 垃圾焚烧发电厂年运行成本估算表 (3×350t/d)

序号	名 称	内 容	单位	数量	单价(元)	总价(万元)
1	辅助燃料					
	煤	按垃圾重量的 5%加煤	t	17483	200	350
	油		t	700	3000	210
2	化学药品					
	石灰		t	10000	200	200
	碱		t	100	1500	15
	盐		t	1000	800	80
3	电耗	从总发电量中扣除	kwh	0	0.4	
4	水耗	50×24×365	t	438000	0.8	35
5	劳动保护		...	.....	.....	50
6	办公		...	.....	.....	120
7	人工	120 人×1000 元×12 月	人	120	12000	144
8	维修费					700
9	小计					1904
10	折旧	按 20 年折旧				1685
11	财务费用					
12	合计					3589

1050t/d 垃圾发电厂配 1.8 万 kw 发电机组 ,如果上网电价按每度 0.6 元、垃圾处理费每吨 60 元、固定资产折旧按 20 年计算 , 则 1050t/d 垃圾发电厂的经济效益测算如下 :

表 3 1050t/d 垃圾焚烧发电厂经济效益测算 (3×350t/d)

	项目	金额 (万元)
一	每年收入	8872
	其中 : 垃圾处理费	2098
	售电	6739
	废金属回收	35
三	每年支出	3589
	其中 : 运行成本	1904
	折旧	1685
	财务费用	0
四	每年利润	5283
五	投资收益率	15.7%
六	投资回收期 (静态)	6.4 年

注 : 上述效益计算中 , 税收按免税计算。

2、1200t/d 垃圾焚烧发电厂的投资和运行成本估算

对于 1200t/d 垃圾焚烧发电厂 (由 4 台 300t/d 循环流化床锅炉组成) 的投资概算和运行成本 (每年运行 333 天) 估算如下 :

表 4 1200t/d 垃圾发电厂投资概算汇总表 (4×300t/d)

单位 : 万元

序号	项目名称	建筑 工程费	设备 购置费	安装 工程费	其它 费用	合计	占总项%
1	热力系统	4149	13029	6037		23214	60.3
2	燃料供应系统	2021	1755	646		4422	11.5
3	除灰系统	103	789	336		1227	3.2
4	水处理系统	91	285	135		511	1.3
5	供水系统	539	0	93		632	1.6
6	电气系统	23	747	1069		1839	4.8
7	自动控制系统	194	1497	698		2390	6.2
8	附属工程	560	160	34		754	2.0
9	生活福利工程	229	23	11		263	0.7
10	小计	7909	18285	9058		35251	91.5
11	其它费用				1666	1666	4.3

12	合计	7909	18285	9058	1666	36918	95.8
13	总预备费	914	0	686	0	1600	4.2
13_1	基本预备费	914	0	686	0	1600	0.0
13_2	材差预备费						
14	总计	8823	18285	9744	1666	38518	100.0

表 5 1200t/d 垃圾发电厂年运行成本估算表（4×300t/d）

序号	名 称	内 容	单位	数量	单价（元）	总价（万元）
1	辅助燃料					
	煤	按垃圾重量的 5%加煤	t	19980	200	400
	油		t	800	3000	240
2	化学药品					
	石灰		t	12000	200	240
	碱		t	120	1500	18
	盐		t	1200	800	96
3	电耗	从总发电量中扣除	kwh	2997 万	0	0
4	水耗	60×24×365	t	525600	0.8	42
5	劳动保护		...	.....	.....	50
6	办公		...	.....	.....	120
7	人工	120 人×1000 元×12 月	人	120	12000	144
9	维修费					800
8	小计					2150
10	折旧	按 20 年折旧				1926
11	财务费用					
12	合计					4076

如果垃圾发电厂配 1.8 万 kw 发电机组，上网电价按每度 0.6 元、垃圾处理费每吨 60 元、固定资产折旧按 20 年计算，则 1200t/d 垃圾发电厂的经济效益测算如下：

表 6 1200t/d 垃圾焚烧发电厂经济效益测算（4×300t/d）

	项目	金额（万元）
一	每年收入	9179
	其中：垃圾处理费	2400
	售电	6739
	废金属回收	40
三	每年支出	4076
	其中：运行成本	2150

	折旧	1926
	财务费用	0
四	每年利润	5103
五	投资收益率	13.2%
六	投资回收期（静态）	7.5 年

注：上述效益计算中，税收按免税计算。

4 合作方式

面议。

电站锅炉运行优化控制系统

1 成果简介

我国是世界第一耗煤大国，且主要用于火力发电。目前，大部分火电厂未采取措施对燃煤锅炉排放的 NO_x 进行脱除，因此造成对环境的污染越来越严重。对 NO_x 的控制有两种途径，一是燃烧过程中的控制，二是燃烧后的烟气脱硝。

氮氧化物 NO_x 是在煤燃烧过程中形成的，主要与煤在锅炉中的燃烧温度及停留时间等因素有关，因此采用锅炉综合运行优化控制系统，可有效地降低 NO_x 的排放，并同时提高锅炉运行效率。

2 技术特点

（一）锅炉运行优化控制原理

1、根据运行历史数据和试验数据，建立机组在不同的干扰量（负荷，环境温度）下，锅炉各可调量，如一次风压、二次风压、燃烧器倾角、烟气含氧量、给粉偏置等与锅炉运行性能（ NO_x 和效率）之间的非线性动态模型；

2、通过运行历史数据和试验数据，建立锅炉各可调量，如一次风压、二次风压、燃烧器倾角、烟气含氧量、给粉偏置等和不可调量，如负荷、环境温度与锅炉运行性能（ NO_x 和效率）之间的非线性稳态模型；

3、通过稳态模型，寻求机组当前可以达到的最佳性能；

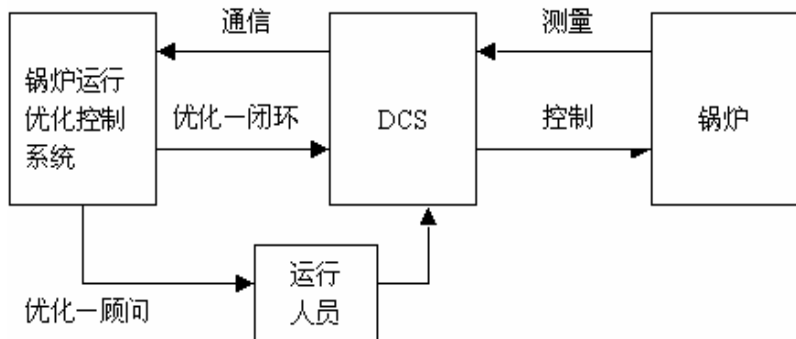
4、根据系统动态模型，采用多变量预测控制，控制机组逼近可以达到的最佳状态，从而实现性能最佳。

（二）具体实现的技术方案

锅炉运行优化控制系统建立在现有电厂的 DCS 控制系统的基础上，通

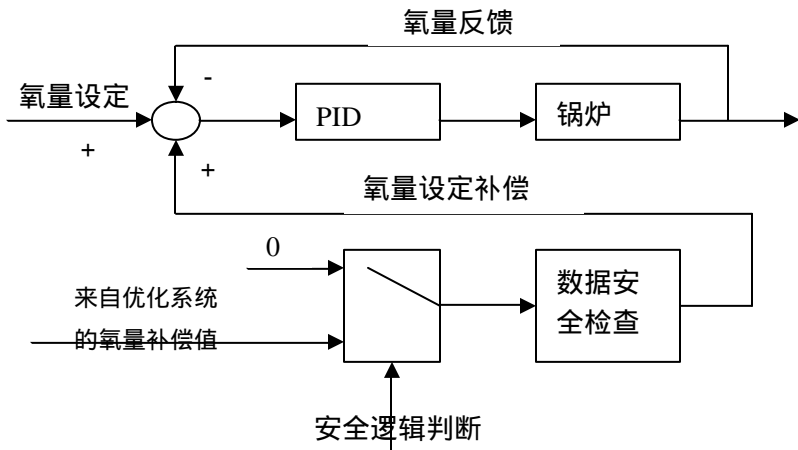
过与 DCS 通信，获取锅炉机组的所有状态与参数，以这些数据为基础，进行建模、优化与控制，得到影响锅炉运行效率的各个控制量的最优值，并以偏置值的形式反馈到 DCS，实现锅炉运行的闭环控制。

锅炉运行优化控制系统的具体工作过程如下图所示：



锅炉运行优化控制系统给出运行可调参数的最佳值，如最佳的烟气含氧量，最佳的一次风压，二次风压等，并将这些值传送给 DCS，由 DCS 完成具体的控制任务。

具体控制时，运行优化控制系统仅仅给出原 DCS 控制参数设定值的一个偏差补偿值，如目前 DCS 控制氧量设定值为 4%，而运行优化系统需要将其调整到 3.5%，则优化系统将给出一个 - 0.5% 的偏差，加在 DCS 的原设定值上，由 DCS 完成具体的控制任务，从而实现优化控制目的。下图为 DCS 逻辑示意。



锅炉运行优化控制系统可以有两种工作模式：

1、优化——顾问工作模式

锅炉运行优化控制系统将优化结果，即与锅炉运行性能有关的各个操作量的偏置值，提交给运行人员，由运行人员手工设定 DCS 设定值的偏置量。

2、优化——闭环工作模式

锅炉运行优化控制系统将优化结果，即与锅炉运行性能有关的各个操作量的偏置值，直接下载到 DCS，完成性能闭环控制。

（三）系统对机组运行的安全性分析

本系统的投运并不影响机组运行的安全性，因为锅炉运行优化控制系统仅仅是在原 DCS 控制系统的设定值上增加一偏置值，为 DCS 指明一个优化的控制目标和方向，以提高机组运行性能，并不参与 DCS 的实际控制过程。

锅炉运行优化控制增加到 DCS 控制系统设定值上的偏置值，需要经过多个安全逻辑检查和安全限判断，才能加入到 DCS 控制的设定值上，从而保证原控制系统的安全性。

3 应用说明

目前我国常规电站锅炉运行效率低，NO_x 排放偏高的主要原因有：

- 1、锅炉热力优化试验时间间隔较长；
- 2、锅炉机组经常进行设备改造而导致锅炉状态偏离热力试验的状况；
- 3、锅炉机组燃烧的煤种不稳定；
- 4、运行中存在的积灰、结渣、漏风等问题使设备状况偏离试验工况；
- 5、燃烧系统运行并没有按热力试验结果运行，具有很大的随意性。

随着技术及管理的进步，目前投运锅炉运行优化控制系统是可以实现的，其原因如下。

1、目前我国火电机组普遍进行了 DCS 控制改造，机组的可控性得到大大的提高。锅炉运行优化控制系统作为机组运行控制的优化决策层，而 DCS 作为机组运行控制的执行层，能够很好地完成优化决策层下达的控制任务。

2、目前很多在线分析仪表进入实用阶段，如飞灰含炭测量，烟气连续 NO_x 测量等，为锅炉运行性能的在线建模提供了精确的反馈量。

3、自动化领域的人工神经网络建模，多变量预测控制等的理论与实践进入了实用阶段，为锅炉运行优化提供了建模和控制手段。

4 效益分析

根据原机组的运行情况而定，一般 NO_x 可降低 5% - 15% 左右，锅炉运行效率可提高 0.3-1% 左右。

5 合作方式

面议。

电站模拟仿真技术

1 成果简介

电站生产现场要求设备安全可靠运行，不允许设置事故和故障重演，使现场运行人员很难获得事故处理实际操作感性认识，人员培训难度较大。因此，通过电站模拟仿真系统提高运行操作人员解决实际运行中可能出现的问题是行之有效的。电站模拟仿真技术应用于热力设备及热力系统仿真机中，可进行电站故障诊断及分析。

清华大学率先在国内开展大型火电机组仿真系统的科学研究，1982 年研究开发成功我国第一台大型火电机组仿真培训系统，仿真技术接近世界先进水平，获得国家科技进步一等奖。

电站仿真技术研究人员在建模理论与方法、图形化自动建模、仿真支撑环境等仿真技术的核心领域，开展了大量卓有成效的研究工作，在研究开发电站培训用仿真系统的同时，开展了对仿真系统多功能化的研究。包括工程分析、系统设计、性能预测、运行优化、控制策略研究等，并开展了对可满足仿真系统多功能、高精度的热力设备数学模型的研究。如超临界机组、循环流化床锅炉等。2003 年研制的 135MW 带再热循环流化床电站仿真机经教育部组织的专家组鉴定，达到“世界领先水平”。

2 应用说明

1. 完全自主开发的仿真支撑系统、图形化自动建模平台以及完善的电站设备与系统模块库，可适应各种类型的计算机操作系统，并且已在二十多个仿真机工程项目中得到成功应用。实现了科研成果向生产力的成功转化。研究开发成功包括 200MW、300MW、600MW 等各种容量的大型火电机组、50MW 及 135MW 循环流化床火电机组、水电站等的各种电站仿真培训系统 40 余台（套），为我国电力事业的发展做出重要贡献。所生产的

产品已远销国外，如 1995 年出口巴基斯坦的 210MW 火电仿真机、1996 年出口韩国三星集团的图形化建模支撑系统及相关仿真软件技术等。

2. 在电站热力过程的先进控制策略、热力设备及热力系统故障诊断、过程历史数据挖掘等方面进行了大量研究，发表了数十篇学术论文。其部分成果已用于实际仿真机工程。如 1996 年完成的华能福州电厂 350MW 火电机组仿真机、华中电力集团公司襄樊电厂 300MW 火电机组仿真机等上的热力设备及热力系统故障诊断系统软件。

已完成的仿真机工程项目有：

序号	用户单位	项目名称	完成情况
1	原水电部	辽宁省朝阳发电厂 1 # 机 200MW 缩减型仿真机	1982 年完成
2	东北电管局	哈尔滨第三发电厂 1 # 机 200MW 全仿真机	1988 年完成
3	甘肃省电力局	靖远发电厂 1 # 机 200MW 全仿真机	1991 年完成
4	贵州省电力局	青镇发电厂 200MW 全仿真机	1991 年完成
5	江苏省电力局	扬州、徐州发电厂 200MW 全仿真机	1992 年完成
6	湖北省电力局	汉川发电厂 1 # 机 300MW 全仿真机	1992 年完成
7	吉林省电力局	长春第二热电厂 1 # 供热机组 200MW 全仿真机	1993 年完成
8	天津市电力局	200MW/100MW/50MW 一机多模原理型仿真机	1993 年完成
9	巴基斯坦	巴基斯坦木扎法戈 5、6 号机 210MW 全仿真机	1995 年完成
10	黑龙江省电力局	600MW/300MW/200MW 一机多模全仿真机	1995 年完成
11	华能福州电厂	日本三菱重工的 350MW 全仿真机 (Stimulator)	1996 年完成
12	东北电管局	哈尔滨第三电厂、元宝山电厂 600MW 全仿真机	1996 年完成
13	湖南省电力局	石门电厂 300MW 全仿真机	1996 年完成
14	韩国三星集团	仿真支撑系统及锅炉模块软件	1996 年完成
15	安徽省电力局	洛河电厂 300MW 全仿真机	1997 年完成
16	辽宁锦州发电厂	锅炉燃烧故障诊断及安全保护专家系统	1997 年完成
17	天津市	大港电厂输煤电视监视系统	1998 年完成
18	东北电管局	大型电站锅炉智能化运行管理	1998 年完成

19	华中电力局	襄樊电厂 300MW/信阳电厂 300MW/益阳 300MW 电厂大屏幕投影显示一机多模仿真系统	1999 年完成
20	哈尔滨电校	哈尔滨 200MW 仿真机集控改造	1999 年完成
21	吉林省电力局	吉林电力公司培训中心 200MW 仿真机改造开发	1999 年完成
22	湖南省电力局	湖南石门电厂 300MW 全仿真机改造	1999 年完成
23	华能福州电厂	二期西门子 350MW 仿真机	2000 年完成
24	云南省电力局	阳宗海电厂 200MW/曲靖电厂 300MW/宣威电厂 300MW 一机多模全仿真机	2000 年完成
25	新疆石油学校	50MW/200MW 一机多模仿真系统	2001 年完成
26	甘肃省电力局	平凉电厂 300MW 全仿真机	2001 年完成
27	山东淄博南定电厂	135MW 循环流化床电站仿真机	2003 年完成
28	国电热工研究院	IGCC 电站静态、动态特性和仿真模型（国家 863 计划项目）	2002~2005
29	福建龙岩电厂	135MW 循环流化床电站仿真机	2004—2005
30	大庆石油管理局	燃气蒸汽联合循环电站仿真机	2004—2005
31	大庆石油管理局	50MW/100MW/200MW/300MW 一机四模电站仿真机	2004—2005

3 合作方式

面议。

水利水电工程全系统瞬变流仿真计算平台

1 成果简介

现代大型水利水电工程中流体网络结构复杂,流动状态各异,机电设备、控制元件及水工建筑物繁多,需要对该类工程进行全系统瞬变流计算以验证工程建成后运行的安全、稳定性,为了对可能出现管流、明流、明满流的单级或多级电站、泵站、抽水蓄能电站及混合系统等水利水电工程进行全系统瞬变流仿真计算,特编制水利水电工程全系统瞬变流仿真计算平台。本软件可以对于不同系统结构的各种电站、泵站工程进行瞬变流计算,只需改变程序输入数据,不需要更改程序即可进行计算。计算结果可以用来校核系统运行的安全性、稳定性,并对系统的运行控制进行优化。

2 技术特点

软件的主要功能和技术特点如下:

1. 对装置混流式、贯流式、轴流式、冲击式机组水电站、抽水蓄能电

站以及装置离心泵、轴流转浆泵的泵站引水工程进行瞬变流计算。

2. 大型水利水电工程中由于工程布置复杂, 系统的初值计算问题严重影响了水利水电工程瞬变流计算的自动建模, 本计算平台用虚拟阻抗法和零流量状态法来求解系统初值, 实现了复杂系统瞬变流计算的自动建模。

3. 本软件对转轮特性在大开度区采用 Suter 法描述, 在小开度区用长度法转轮特性描述, 这样既解决了 Suter 法在小开度区和零开度时的计算多值问题, 又可以节省计算时间。

4. 对于可以侧向溢流的明渠, 用有侧流堰的明渠非恒定流模型计算, 可以用来模拟明渠沿程的分水。

5. 对明满交替流动采用特征隐式格式法计算, 解决了明满流分界面跨计算节点时计算不稳定的问题。

6. 用空间上的延伸来解决明流、管流联合计算时的时步衔接问题, 可以计算系统中既有管道流动又有明渠流动的情况。

7. 对多级电站、泵站工程可以进行全系统联合瞬变流计算, 用来研究全系统流量平衡、调度及控制问题。

3 应用说明

本软件可用于对各种电站、泵站工程进行全系统瞬变流计算, 适用于对水利水电工程瞬变流进行研究的水利水电工程设计单位及科研院所。

4 效益分析

对电站、泵站工程进行系统优化, 在保证工程运行安全的情况下节省工程投资, 对工程运行进行优化控制, 提高系统运行的安全性、稳定性、经济性。

5 合作方式

1. 对各种泵站引水、供水工程以及电站工程进行水力过渡过程的委托计算以及对系统运行的控制调度方案进行优化研究。

2. 程序转让以及相关人员培训。

新型节能环保自控燃煤锅炉

1 成果简介

随着我国经济建设的快速发展, 能源需求已是一项突出的重要问题。既节能又环保的燃煤锅炉设备, 是许多企业、单位首选的供热设备。特别

是随着油价、煤价不断的攀升，使得许多使用燃油、燃煤设备的用户难以支撑，再加上国家对环保要求不断提高，更使得传统式的燃煤锅炉难以达到环保标准。

新型高效节能环保电气自动控制的燃煤锅炉正是为了解决这一问题研制开发出来的产品。这种锅炉彻底改变了传统锅炉的燃烧结构，利用封闭燃烧的高温原理，致使煤在燃烧过程中产生的挥发成分（黑烟）转化为可燃气体再次燃烧，由于炉膛温度高达 800-2000℃，烟雾得以充分分解，从而解决了烟煤无烟化的难题。该产品的特点：体积小，火力强，升温快，热效率高，运输、安装方便，电气化自动程度高，定温自动循环，炉体保温，热损失小，不用专人坚守看管，自动化恒温燃烧。该产品已经经过国家环保局北京除尘设备质量监督检查中心检测，环保性能指标达到并优于北京市 DB11/139-2102《锅炉污染综合排放标准》及国家最新制定的燃煤锅炉排放标准的要求。特别是已有一定数量的锅炉投放市场 1 年多的时间，取得了很好的经济效益和社会效益。

2 应用说明

该产品结构独特，外观别具一格，选材考究，工艺严谨，适应各种不同需要，是现代企事业单位、家庭别墅、昼夜恒温供暖，洗浴中心及养殖业，蔬菜大棚等理想的选择设备。特别是油炉改煤炉的理想选择设备。

3 效益分析

由于该产品采用了最新设计，改变了传统的燃烧方式，不仅节能环保，而且体积、重量都有所下降，节省了材料和人工。市场销售价格是成本的 3 倍，具有 30 万元资金投入将会制造出 90~100 万元的设备来。

4 合作方式

优先考虑与具有加工生产设备、厂房、销售能力的客户洽谈。

无线远程自动抄表系统

1 成果简介

所谓自动抄表系统是指将供电部门安装在用户端的电度表的读数,通过无线远程通讯的方法,传送到电管部门的计算机管理系统,从而实现自动记录等一系列功能,克服人工抄表工作量大、费用高、数据不正确等缺点。自动抄表系统除了完成抄表功能以外，还可对线损进行计算，针对普遍存在

的窃电现象，有一定的排查功能，便于进行检查。

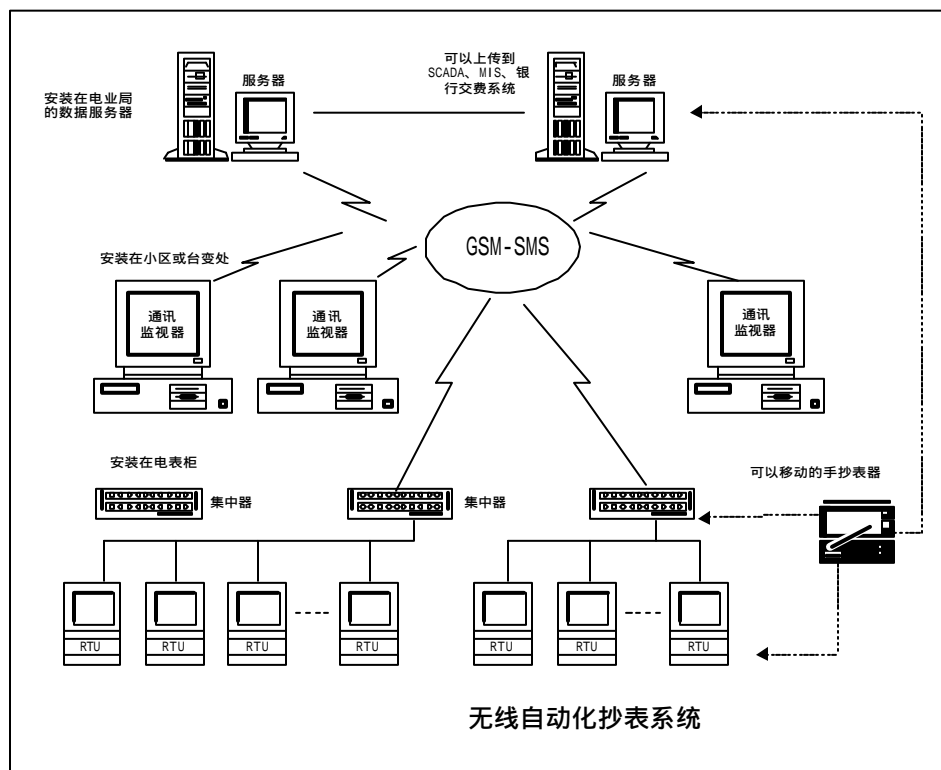
该项目有以下特点：(1) 实时性高；(2) 可靠性高；(3) 成本低，技术含量大；(4) 通讯系统的性能能适应地域分布广、情况复杂、干扰信号多的场合。

通过 SMS 无线短信息的自动抄表系统，是利用多项高科技研制的一个电力系统新产品。装有火柴盒大小的远程终端 RTU 的电度表可以在无中断转发的情况下，完成电度表与集抄器之间的双向无线通讯。它要解决的是世界上还没有完全解决的低成本、小体积、高可靠通讯的难题，使产品在该领域中处于世界领先地位。本系统关键部件采用 IC 专用芯片，工艺中采用 SMT 表面贴装技术，它可以广泛用于各种电度表和其他测量仪表(水表、汽表)的远方遥测和遥控，是电力部门和其他表计管理现代化不可缺少的工具。

目前市场上尚未有成熟的产品。

2 应用说明

系统总体结构图见下图所示。



有关说明如下：

- * 系统总体结构采用 CLIENT/SERVER 结构。数据库采用关系数据库。
- * 通讯监视器负责和通讯集抄器的通讯，用于采集数据。
- * 通讯接口机负责和其它系统，如 SCADA、MIS 等系统的通讯，从而提供本系统和其它系统方便的接口。
- * 对某些比较分散的用户，从节省投资的角度出发，可以不用通讯的方式采集数据。数据的采集用手持式抄表器，然后通过接口将抄表器内的数据送入系统主机(服务器)。
- * 每台配电变压器配备一台通讯集抄器，用于将数据采集器(RTU)的数据进行集中和简单的处理（如进行适当的数据压缩），然后通过通讯监视机传到系统主机。通讯集抄器还应配备手持式抄表器的接口，在通讯不畅通时或对某些特殊用户可用人工的方式采集数据。每台通讯集抄器应能管理 300 - 500 台数据采集器。
- * 手持式数据采集器采用低功耗器件制成，用电池供电。内部设有海量存贮器，可存贮 20000 个左右用户的数据（约 40 台配电变压器），并可对通讯集中器的时钟进行校准。
- * 系统最关键的技术是抄表系统，现已由清华大学自动化系完成样机。其它部分硬件大多可从国内外市场采购。软件需根据客户要求开发（技术难度不大）。

3 效益分析

全国约有 2 亿人家用电。如每户均用抄表器，每块电表上的抄表器 200 - 300 元，则需 400 - 600 亿的产品方能满足需要。如十年改造完，每年即有 40 亿市场。此外，该设备系电力系统投资得益，一般仅减少窃电一项好处，即可在一年内收回资金。

该系统技术上有很大的难度，但是社会效益和经济效益极其可观。不说间接的效益，就看生产厂国内的潜在产值就有几百亿人民币。而且这类产品都是高附加值的产品。按每台表计 230 元售价，原材料费 80 元，加工费 10 元计，毛利可达 60% 以上。对我国的国民经济发展是一定会有很大的影响的。

4 合作方式

甲方（投资、生产、销售方）首期支付乙方（技术开发方）技术开发费 200 万元，投产后甲方应以每台提出 20 元作为技术成本给乙方，如生

产销售每年不足 5 万台时，应按 5 万台计算，即每年以 100 万元支付乙方。如两年后甲方生产、销售还达不到设计水平（5 万台），乙方有权另选厂家合作。

离子交换树脂的电再生技术

1 成果简介

水的离子交换净水处理是火力发电厂和电子、制药、化工等部门制取纯水必定采用的净水工艺，这些部门使用大量离子交换树脂。这些树脂在使用失效后需用酸碱溶液再生，使其恢复交换能力。这种酸碱化学药剂再生法存在如下缺点：

- （1）再生药剂利用率很低；
- （2）大量废酸废碱溶液和清洗废水排放，腐蚀下水道，并污染水体，破坏生态平衡；
- （3）再生操作繁多，工人劳动条件差；
- （4）再生系统复杂，并要求防腐。

离子交换树脂电再生技术是利用水电离产物 H^+ 和 OH^- 直接使离子交换树脂再生，它只耗电而不消耗酸、碱化学药剂，因而无大量废酸、废碱和废水排出，不污染水体，对环境无害，且操作简单，使用方便，运行费用低，环保和经济效益相当显著。

本技术的工作原理已由电去离子（EDI）净水设备的运行实践所证实，国内五组工程技术团队还进行了试验研究，花费百余万元，已用试验证明离子交换树脂电再生在工程上实施的可行性。

2 技术指标

本电再生技术系国际独创，已获得“离子交换树脂的电再生方法及装置”发明专利（ZL 96120791.4）的专利权。在第三届爱因斯坦世界发明（技术产品）博览会上展览，获国际金奖。已申报“复床离子交换树脂电再生装置”实用新型专利（ZL 200420009028.3），作为上述发明专利的补充。

失效的离子交换树脂经本体外电再生器再生后，树脂再生度达到与酸碱化学再生法相媲美的程度，其性能满足使用要求。

3 应用说明

离子交换净水技术广泛应用于火力发电厂及电子、医药、化工、科学

等部门等一切使用纯水的单位，本技术可供这些单位再生离子交换树脂使用。

4 效益分析

本技术利用水电离再生失效离子交换树脂，耗能极少，预计电再生耗电费用仅为酸碱化学药剂再生费用的十分之一。火力发电厂等单位使用本技术后，每年可节省酸碱费用几百万元。本技术在国内推广后，每年可节省酸碱再生费用 20 ~ 30 亿元。还可出口占领国际市场。

本技术经济和环境效益较好，国内外迫切需求，产品市场前景广阔。

预计先投资 40 万元制出样机，经鉴定改进投产。设备批量生产投资规模按产量而定。

5 合作方式

专利转让：一般转让入门费 50 万元，并按产品投产后销售额 10% 提成；其它方式协商。