

第五届电能质量研讨会



华北电力大学  
NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY

# 电能质量科技发展动态分析与展望

肖湘宁

2010年04月—西安



# 主题内容

- 一、以现代电力系统的发展趋势为背景，从大电力系统建设、新能源和分布式电源与微网兴起、多样性负荷构成与变化三个方面综合分析电能质量领域的发展动态和研究方向
- 二、以欧盟-LPQI和美国EPRI在劣质电能成本上的调查结果为依据，介绍电能质量市场和经济性研究结果，分析开展的研究方向
- 三、简要介绍国内在电能质量控制装置研发进展
- 四、展望与结语



一、当代电力系统的电源类型与特性、电网拓扑结构和负荷构成性质正在发生着深刻变化，加之电气设备的敏感性不断增强，引出许多新问题和新概念，使得新一代电力系统也愈加复杂。其中，传统电能质量问题和新的电能质量研究课题已日益引起电气工程界、电力用户和电力公司的全面关注。



# 1、电能质量逐渐形成一套知识体系， 其理论与方法的研究正在全面深入开展

十多年前，当第一本全面论述电能质量的著作问世，提出的第一个问题依然是：**What is power quality?** ；

时至今日，全世界已有许多著名学者著书立说，从各个方面研究和讨论电能质量问题；许多国家和团体纷纷成立专门的标准和研究机构，极大地推动了在电能质量的理论与方法、监测与控制、技术与装置、评估与标准等领域科技工作的迅速发展。电能质量已经成为了一个覆盖诸多学科的复杂领域，并逐渐形成了独立的知识体系。在世界经济飞速发展的今天，电能质量领域又出现新的发展趋势、面临着新的机遇与挑战。

而现在是：**Who takes care of power quality?**



1) 从国内外电能质量相关著作出版的数量之多和涉及的领域之宽可以看出：电能质量正在逐渐形成其理论体系

《电力系统电能质量(第3版)》

《电力系统谐波分析》

《电压暂降与短时间中断》

《电力系统电能质量评估》

《电能质量扰动的信号处理》

Power quality indices in liberalized markets

《开放市场下的电能质量指标》 2008-02-28

Handbook of Power Quality

《电能质量手册》 2008-04-11

Power Quality: VAR Compensation in Power Systems

《电能质量：电力系统无功补偿》 2008-08-12

Power quality in power systems and electrical machines

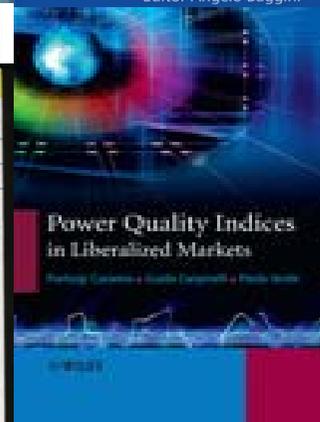
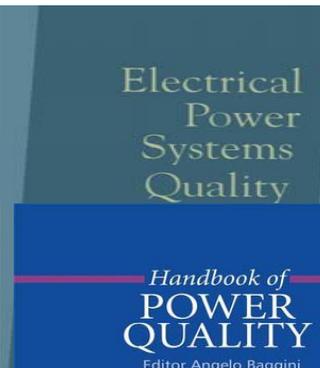
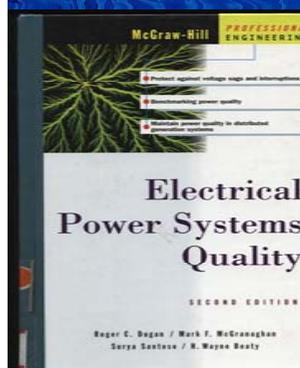
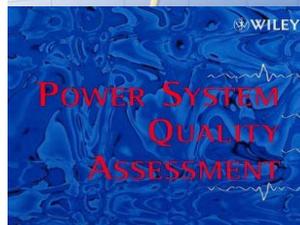
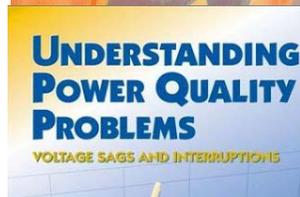
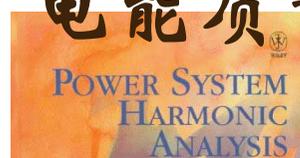
《电能质量与电机》 2008-02-15

Distribution reliability and power quality

《配电可靠性与电能质量》 2008-06

Instantaneous power theory and application to power conditioning

《瞬时无功功率理论及其在电力调节中的应用》 2009-07



1) 国内电能质量相关著作出版显示：  
近年来在该领域的学术与科技工作活跃，  
增长迅速，并在许多方面展开

2004年国内出版了第一本电能质量教科书；近5年来编著和翻译出版了约10余部著作。PQ问题已引起国内科技界和工程界极大关注。







以新近翻译出版的《电能质量手册—HANDBOOK OF POWER QUALITY》为例说明：电能质量是覆盖诸多领域的系统工程问题，每一个主题都可以写出一部专著。

### 电能质量基本现象

- 第一章 频率变化
- 第二章 供电连续性
- 第三章 配电系统电压控制
- 第四章 电压暂降和短时间供电中断
- 第五章 电压波动与闪变
- 第六章 电压和电流不平衡
- 第七章 电压和电流谐波
- 第八章 过电压
- 第九章 现代电力系统波形分析

- 第十章 接地
- 第十一章 供电可靠性：配电网结构
- 第十二章 供电可靠性：电器与设备

### 电能质量相关配置

### 运行中的电能质量

- 第十三章 电能质量监测
- 第十四章 静态换流器与电能质量
- 第十五章 无功功率补偿
- 第十六章 分布式发电和电能质量

### 治理电能质量措施

- 第十七章 电力市场
- 第十八章 劣质电能的成本
- 第十九章 电能质量与电能的合理使用
- 第二十章 由ISO标准认识电能质量

### 电能质量市场

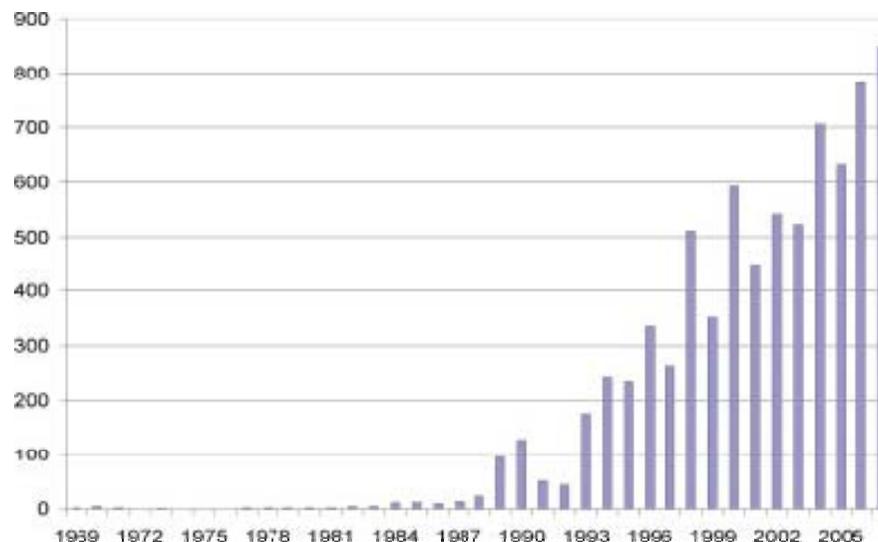


## 2) 电能质量的理论与方法研究再次掀起高潮

❖ 电能质量是一个覆盖诸多学科的复杂领域；而科技的发展和社会文明的进步，又赋予了电能质量许多新的内容。例如在电力设备方面：**设备的敏感性与免疫力研究；装置的电压耐受与过渡能力研究；设备制造、电力用户与电力部门在标准制定方面的协调等。**

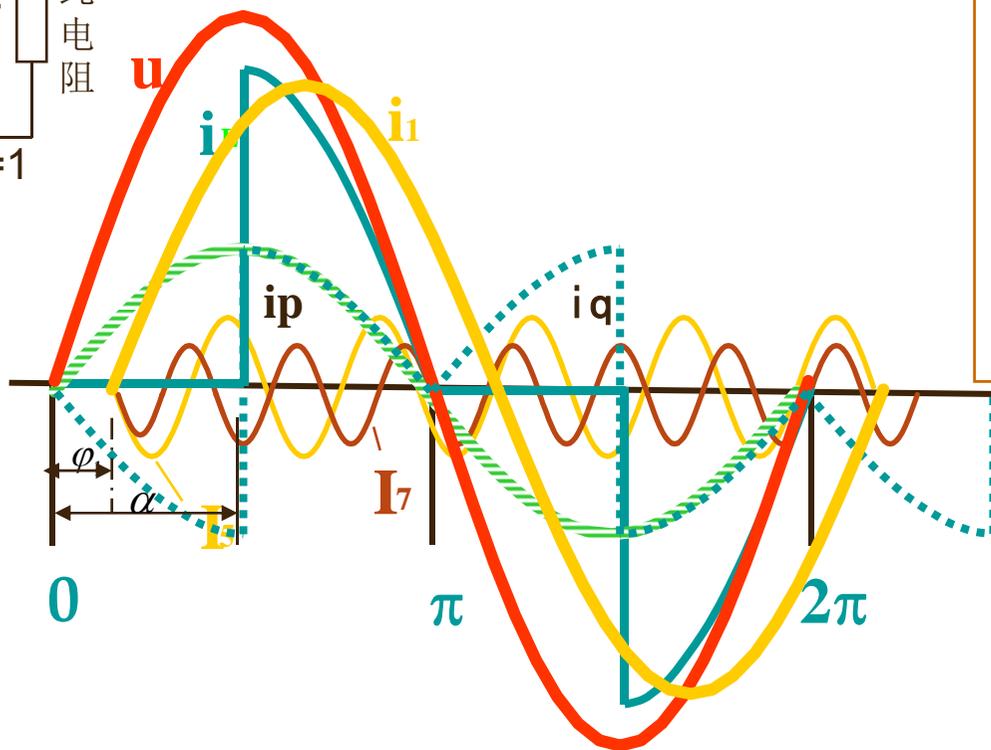
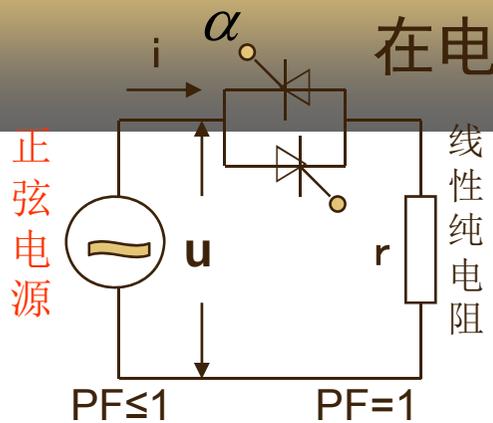
❖ 又如在公用电网的电能质量问题方面：**典型畸变条件下的功率理论与电能计量方法；电力系统运行状态与电能质量的关系；新能源和分布式电源的接入；电压暂降的评估指标与标准；电力系统的经济性与电能质量的市场化操作等。**

近年来，国际知名刊物直接以电能质量为题的论文发表数呈直线上升。



在 INSPEC database 收录的电能质量论文数

# 在电能质量理论研究方面的典型实例 ——畸变波形功率定义



由此引出两个重要理论问题：**1)** 在具有开关和电阻的交流电路中，无功功率是如何产生的？其物理解释又如何？**2)** 如何定义非线性电路的功率？

$Q = UI \sin \varphi = ?$

在非正弦不平衡条件下的功率理论研究及定义将影响到电能计量的经济性问题；在电力谐波的功率流向上的重新认识将决定谐波源的定位等



### 3) 可能开展的研究方向与课题

- ❖ 电压暂降的标准制定需要建立在理论与方法研究成果的基础上。尤其对于电压暂降的三相特征，将影响到产品制造业在设备设计制造中对电压暂降的认识；
- ❖ 新能源和**FACTS**装置的接入使公用电网的概念正在发生着变化；在谐波标准覆盖的频率范围确定上，将从以往**40th**谐波向更高频率扩展的问题研究；谐波发射和谐波谐振新研究课题；
- ❖ 配电变压器经受着多种电力扰动（有功/无功变化、电流不平衡、谐波电流、冲击电流等）对其功率变换过程的分析，在综合扰动指标下变压器过负荷和寿命损失的预估；
- ❖ 直流系统对电压尖峰、瞬变和纹波的要求；不久的将来实现直流配电网的可能；提出制定**直流电能质量标准**的想法；
- ❖ 消化吸收和采用**IEEE1459-2000**关于功率的实用定义和指导准则；提出一种确切的、在物理上有联系的和能被广泛接受的非正弦功率实用定义已是当务之急。



## 2、电力系统正在发生着深刻变化，

当代电网越来越复杂，新的电能质量问题不断出现

- ❖ 世界能源危机已迫在眉睫，可再生能源利用已成必然趋势。新能源电网正在形成—（亦称第三代电网）
- ❖ 自然环境的变化、迫使人类要增强应对和抵御突发灾害的能力
- ❖ 新一代电力系统将如何发展—要求输电网更加坚强，配电网灵活互动，具有信息化，智慧型…
- ❖ 提出分布式电源和微电网结构与主电网相辅相成



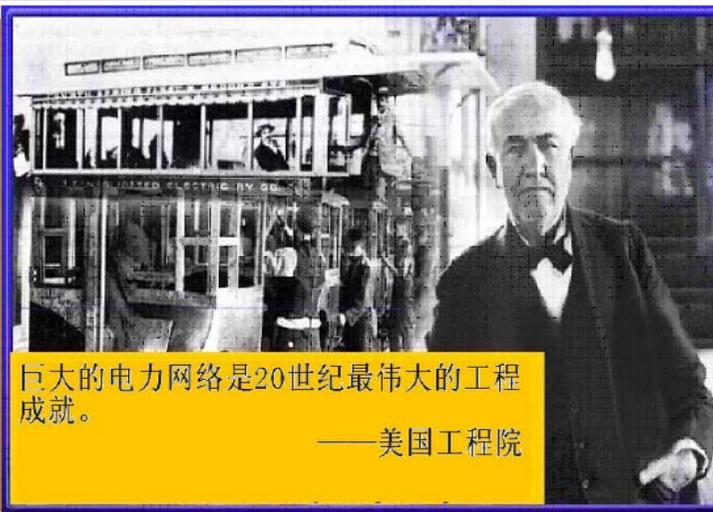


# 1) 建设大电力系统

## (BULK POWER SYSTEM) 仍将继续

对电力的依赖越来越强!

❖ 电力系统包括发电机、负载和连接阻抗，是极其独特的自成一体的人造动态系统。任意一点的电压、电流或者阻抗发生变化，都将引起系统其他各点参数的变化。



巨大的电力网络是20世纪最伟大的工程成就。

——美国工程院

中国电网将成为世界上最复杂的交直流互联大电网，  
国家科技部也提出了建设“坚强智能电网”的长远任务。

如何保障其**安全稳定**、**经济优质运行**是极具挑战性的重大课题！

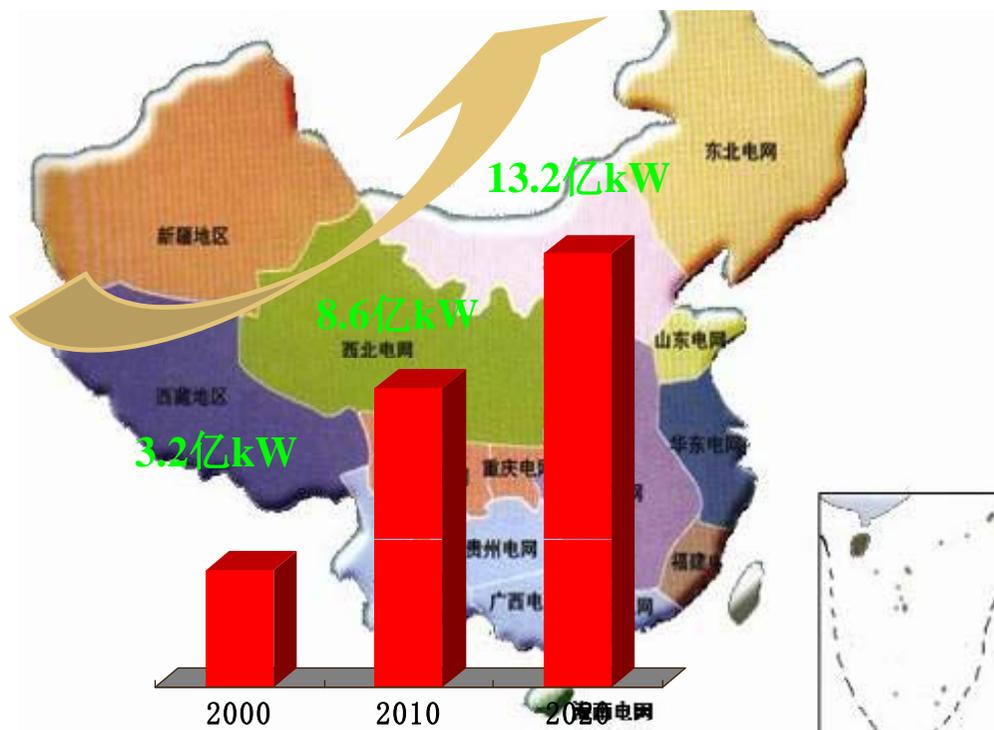


图例  
— 500千伏交流  
— 750千伏交流  
— ±500千伏直流  
— ±800千伏直流

## 发电与装机容量目前均居世界第2位

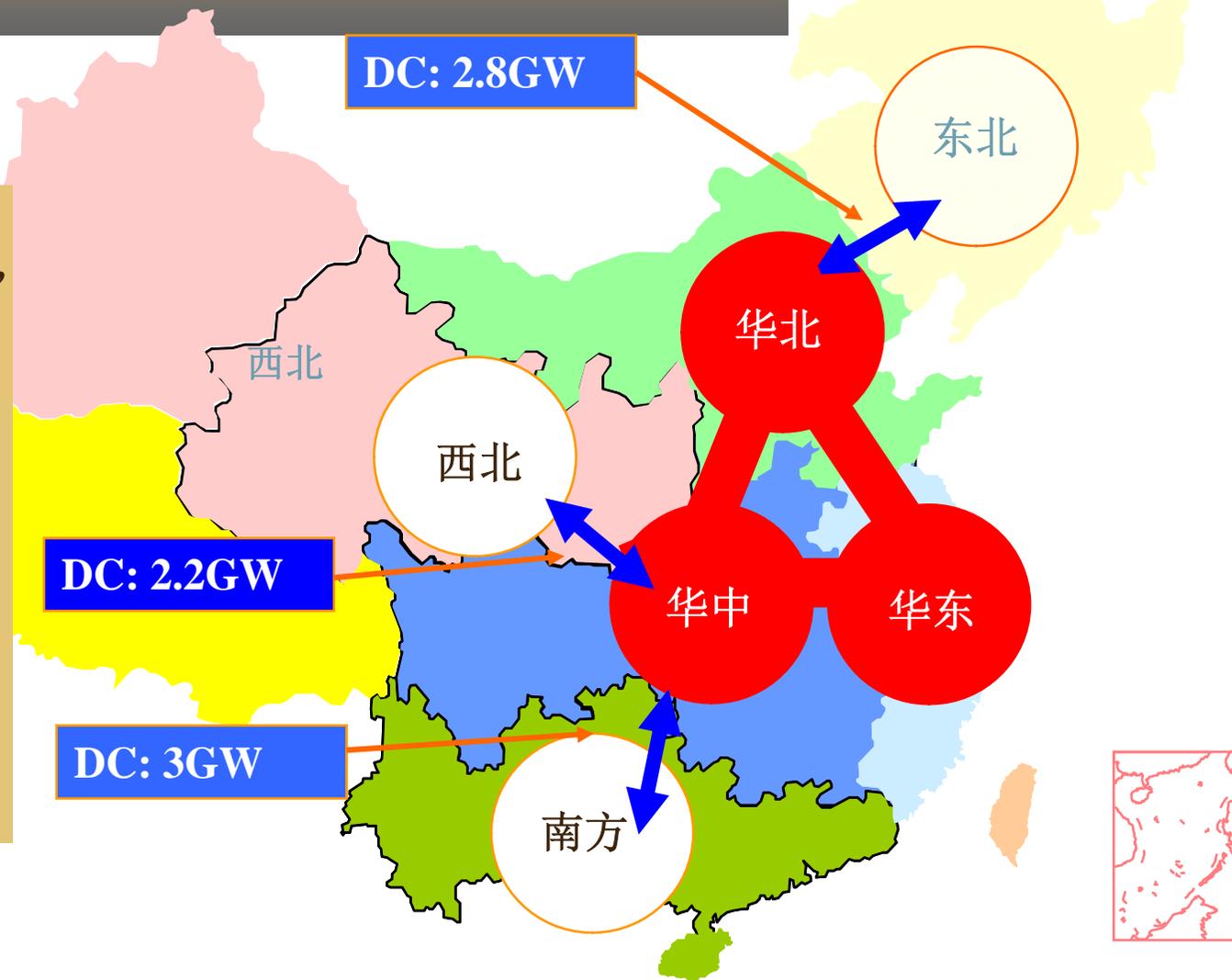
❖ 中国正处于全面建设小康社会和构建社会主义和谐社会新的历史时期，工业化、城镇化进程不断加快，电力需求增长迅速。

- “十一五”期间年均增长率预计约为**10%**左右，已达到**9亿千瓦**，人均电量由**500W**增长到**600W**。



# 特高压电网构建方式

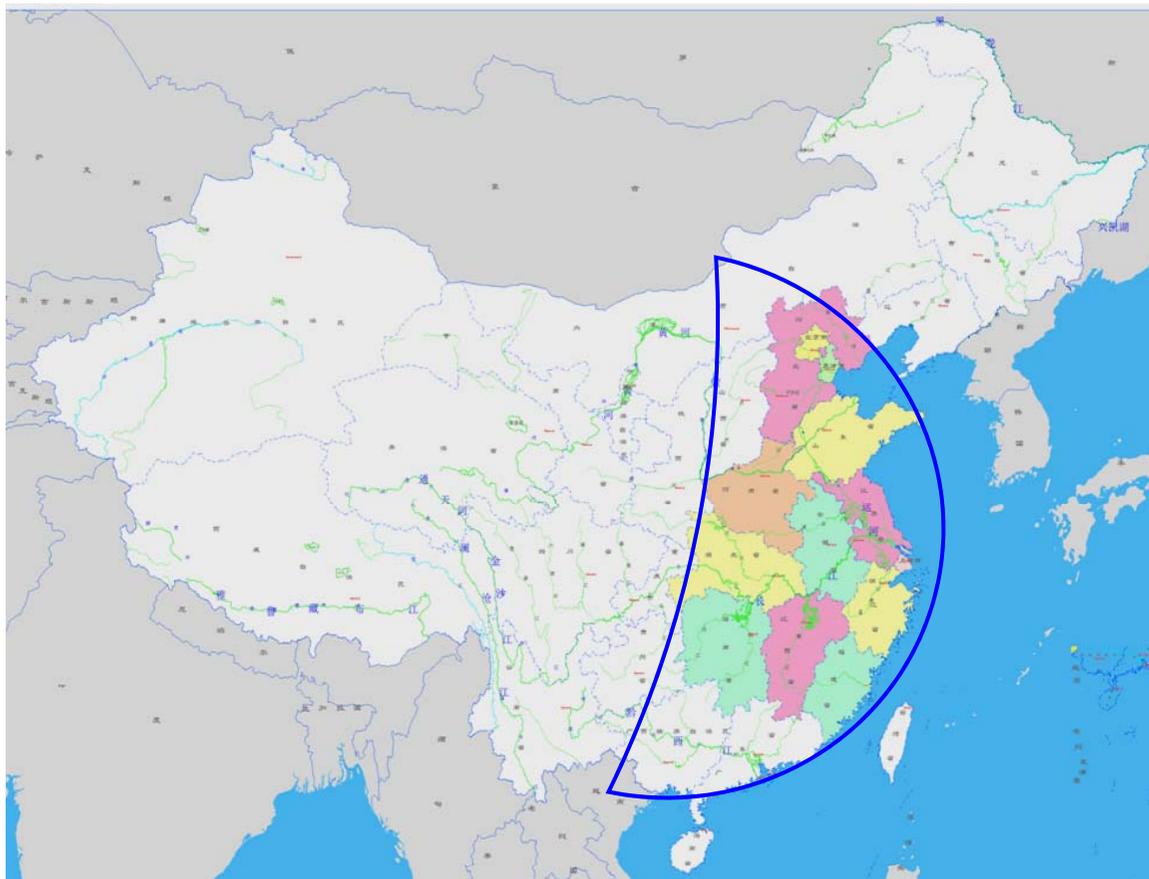
华北-华中-华东特高压同步电网是“团状”结构，改变了东北-华北-华中同步电网那种稳定性相对较差的长链式电网结构，在电网结构上就保证了系统具有较高的安全稳定水平。提出了建立2纵2横的特高压电网任务。





**经济发达地区电力市场空间大，电能质量问题也最突出，保障电力系统安全稳定、经济优质运行极具挑战，也是推动电能质量研究的良好机遇！**

2005年底，京津冀鲁、华中东四省和华东等地区主要受端电网（13个省区）用电量占全国的55%，未来十五年电力需求仍将继续保持快速增长，考虑在建煤电、核电、气电等必要的受端电源及接受西南水电后，预计2020年前这些地区新增电力市场空间合计约2.58亿千瓦以上。





## 电力系统中3特性与基本任务关系示意图



电能质量是电力系统运行三要素的必要补充，  
是电力系统运行状态的具体表现，是现代电力系统  
不可或缺的考核指标

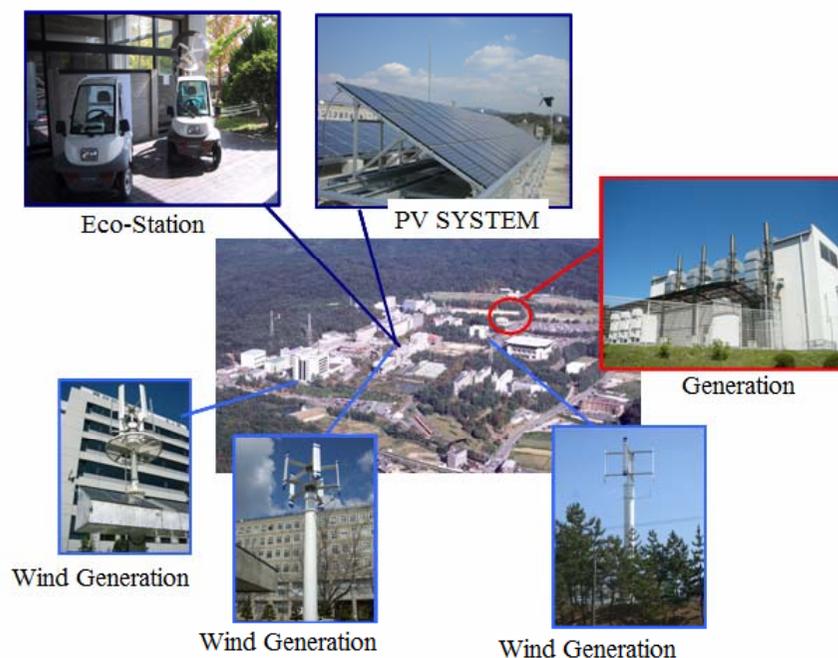
# 量与质的保证是电力系统的基本任务

- ❖ 不间断地向用户供应质量（电压和频率）合乎规定的电能。对其性能要求通常以可靠性来表征。
- ❖ 电力系统可靠性是按可接受的**质量（Quality of power）**和所需**电量（Quantity of energy）**不间断地向用户提供电力的能力。
- ❖ **Q×Q（电量，质量）**是系统运行可靠性（充裕性和安全性）的基本表征。



## 2) 新能源、分布式能源和微电网正在兴起

- ❖ 一方面，大电网 大容量 高电压 互联系统仍在继续发展，另一方面新能源储能技术分布式电源微网供电正在迅速兴起，智能电网(**Smart Grid**)为战略性新兴产业正在崛起。因此，
- ❖ 大力发展可再生能源的开发和利用，就地取能，尽量减少输电损失，使电力系统更加“灵活智慧、互动自愈”，极大地提高电力系统的运行效率，真正构成一个集电力流、信息流和管理流为有机结合的互动（活性）的智能电网(**Smart Grid**)。
- ❖ 大规模可再生能源的功率波动性、间歇性和不确定性以及多种电源经电力变换分布式接入配电网，将会带来许多电能质量新问题。





在我国规模化新能源从多处接入主干电网是一大特点；到2020年风力发电规模将达到10000~15000万千瓦、太阳能光伏发电也将达到2000万千瓦。大规模可再生能源的功率波动性、间歇性和不确定性以及多种电力变换接入方式对电网电能质量带来新的问题。

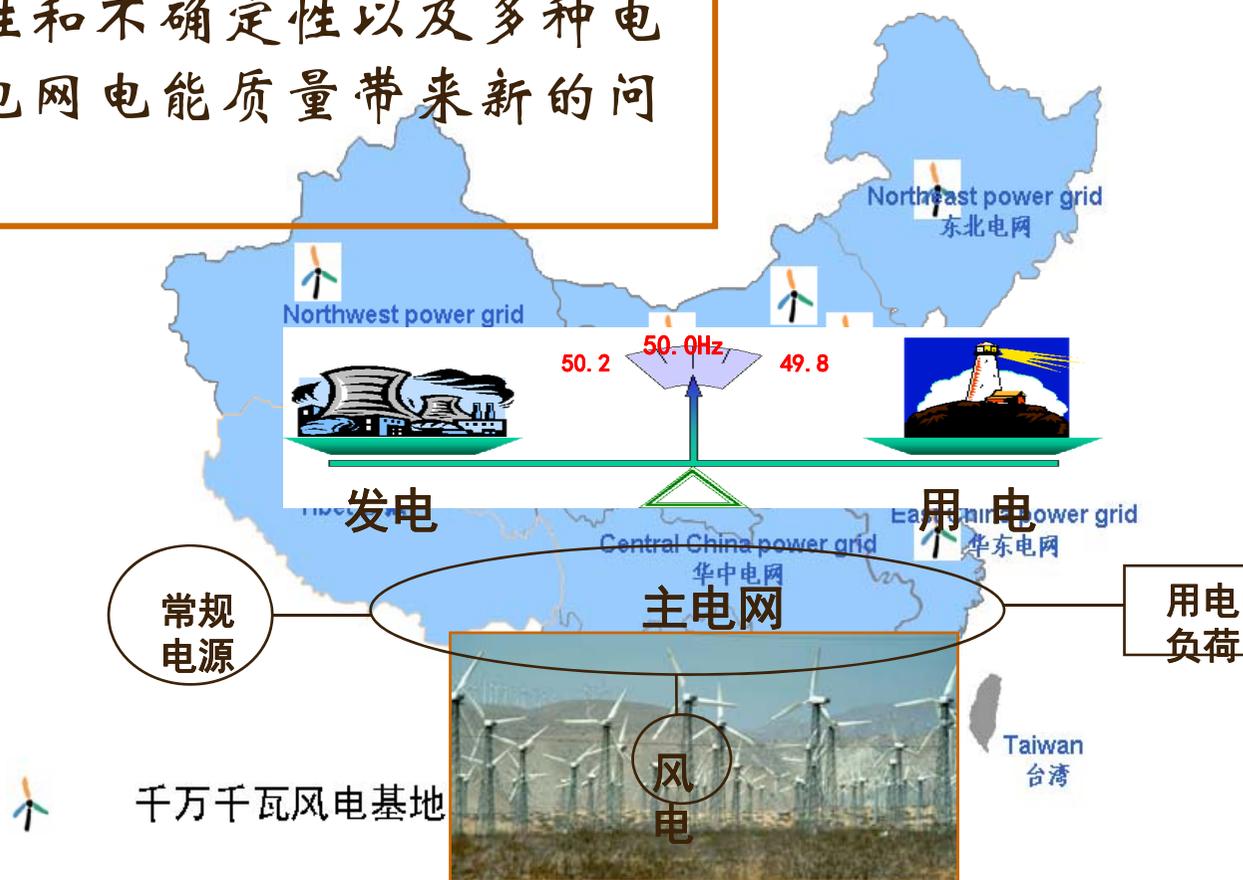
战略性发展计划：

风力发电将集中开发七个规模达到千万千瓦级的大风电基地。俗称：

西北的陆地三峡；

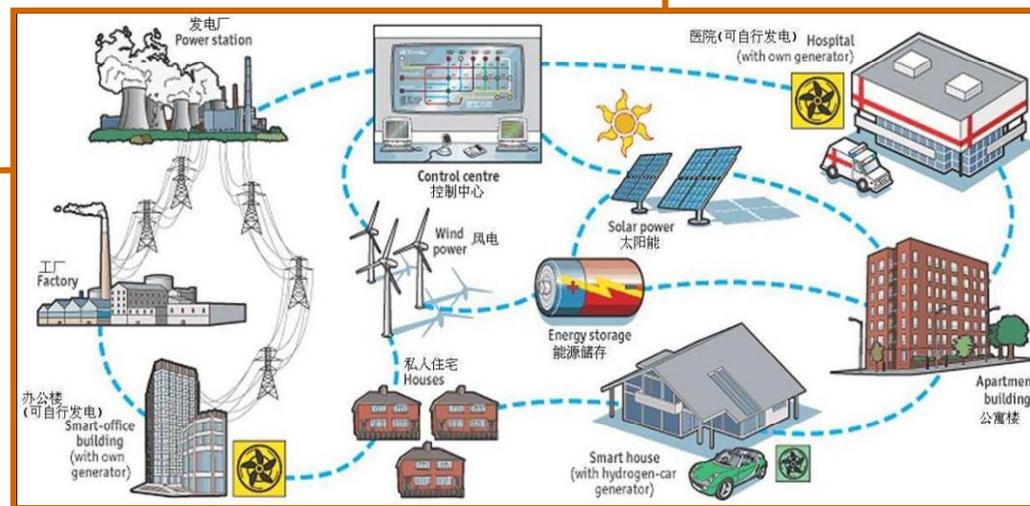
华北东北的空中三峡；

华东的海上三峡。





随着新能源多处接入主干电网和分布式电源系统的形成，传统配电网由被动的受端变为有源系统，功率由单向转为双向流动；各类负荷对电力品质愈加敏感，质量和可靠性要求进一步提高；电网结构和负荷类型正在发生着深刻变化。对此，需认真分析和研究电力消耗过程中的转换问题，积极面对各种电力扰动以及由此带来的日益严重的PQ问题，采取措施解决、制定相关的约束准则，而我国在这方面的研究和实施工作则处于起步阶段。





### 3) 负荷类型和构成在发生着快速变化

- ❖ 随着电力消耗形式的多样性，非线性设备比重增加，非线性特性愈加明显，电能质量问题会变得更加严峻。
- ❖ 是电力适应现代电气设备的敏感性，还是敏感用户应提高自身的免疫能力？接纳并共存，采取必要的措施和制定相关的约束准则，在我国这方面的研究和实现刚刚开始。

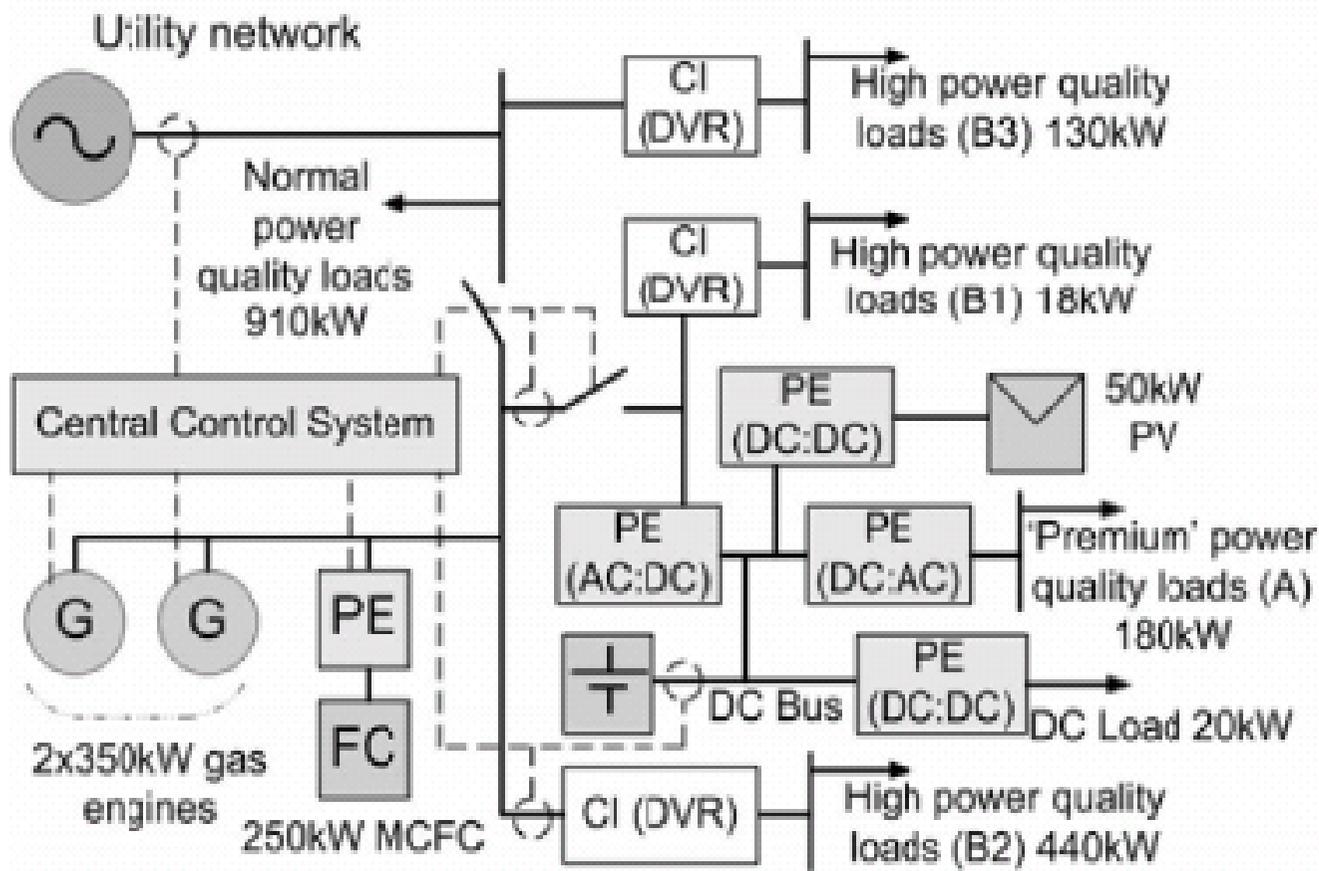
关注电力消耗过程中的两种转换，  
积极面对，解决日益严重的电能质量问题

电能是一种具有广泛适用性的终端能源：**可直接转换成其它能源形式消耗，亦可转换成多种形态的电能后再消耗（或再利用）。**

电能形态经转换后使用的比例是社会发达与否的标志。发达国家已达70%，我国约为30%；

由谁来负责和承诺改善劣质的电能质量，又由谁来维持现有的电能质量水平？至今责权还不很清楚。

# 未来配网规划例—DG和PQ分级控制



**A类负荷——优质**

**180kW**

**B类负荷——高质**

**588kW**

**普通负荷——中质**

**910kW**

**B类再分级:**

当电网停电后,

**B1:** 由储能系统供电;

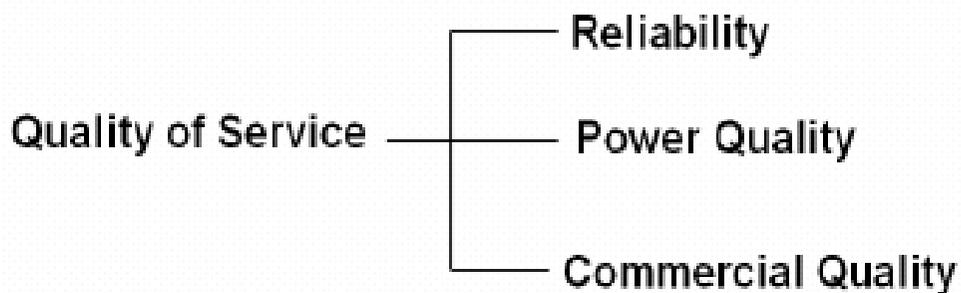
**B2:** 由DG供电

**B3:** 无备用

在建的日本Sendai项目——  
微网 (Micro Grid)

电能质量是多学科综合性问题，电能质量问题研究逐渐走向内涵广义化，基准指标化，操作工程化

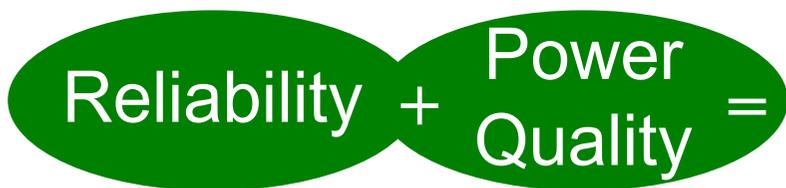
国际电工界在供电质量、电能质量、供电可靠性等方面仍然在讨论和探索，比较明显的趋势是电能质量广义化，将它们视为统一系统对待。



计及PQ与设备敏感性的供电连续性，两个Q都满足。

规范指标与体系，设立监控系统，协调管理与技术措施。

非技术性服务，投资与交易，按质论价，节能增效评估。



**全面的  
供电质量**



## 4)可能开展的研究方向与课题

- ❖ 分散式电源给主电网带来了正负两方面的影响，例如提高了短路容量水平，可减小电压暂降深度；风电机的PWM开关换流器可四象限运行，使电压水平得到整体提高。
- ❖ 但是，分散式电源的渗透率不断增长，引起双向功率流动，使传统的“被动的或无源的”配电系统变成为“主动的有源”系统、微网运行时多样性电源直接作用于敏感设备等，给配电网电能质量水平带来了新的和严重的影响，如：
  - (1) 大电流的变化引起高频瞬变（冲击和振荡）现象突出；
  - (2) 发电机组输出功率的间歇变化导致电压出现短时波动；
  - (3) 单相发电机组带来的电源不平衡问题；
  - (4) 配电系统发电机影响到背景谐波和系统谐波阻抗；与原有无功控制的相互作用和出现协调冲突。



## 4) 可能开展的研究方向与课题

### (1) 新能源电力方面

- a. 新能源（经变换后，发电特性）接入主网输电和配电系统的新的性能指标（电压随机变动、波动间歇风电功率总量引起过电压、增大短路水平、与电能质量的平衡问题）
- b. 新能源导致额外的大量容性元件（太阳能EMI滤波器、风机功率因数校正器、风电场输电电缆等）接入电网，由此可能出现低次谐波谐振；
- c. 风电、太阳能等使用的电力电子转换器的切换频率一般在**1kHz~几十kHz**, 新能源的发射频率将取代在中高压系统常规考虑的频率。



## 4) 可能开展的研究方向与课题

### (2) 电力负荷方面

- a. 多种类型的照明闪变与连续和间断偶发电压波动的关系
- b. 现代高频镇流器日光灯数量增加，注入配电系统高频畸变成分严重；
- c. 负荷特性、特征分解与负荷类型识别

### (3) 研究方法手段方面

- a. PCC处多时变非线性源（如风电场分布式发电）的叠加
- b. 时变谐波分析及其准确测量的方法
- c. 针对电能质量模型的复杂性和准确度，采用数字—物理闭环实时仿真方法



## 2. 电能质量市场价值

二、开展电能质量调查与技术经济管理，研究电能质量对经济的影响，提出电能质量市场价值概念和未来供电质量合同模式，节约电能，高效利用电能，改善电气环境和保障优质电力主题已经带动电力电子装置和电能质量监测与控制设备新兴产业的发展。

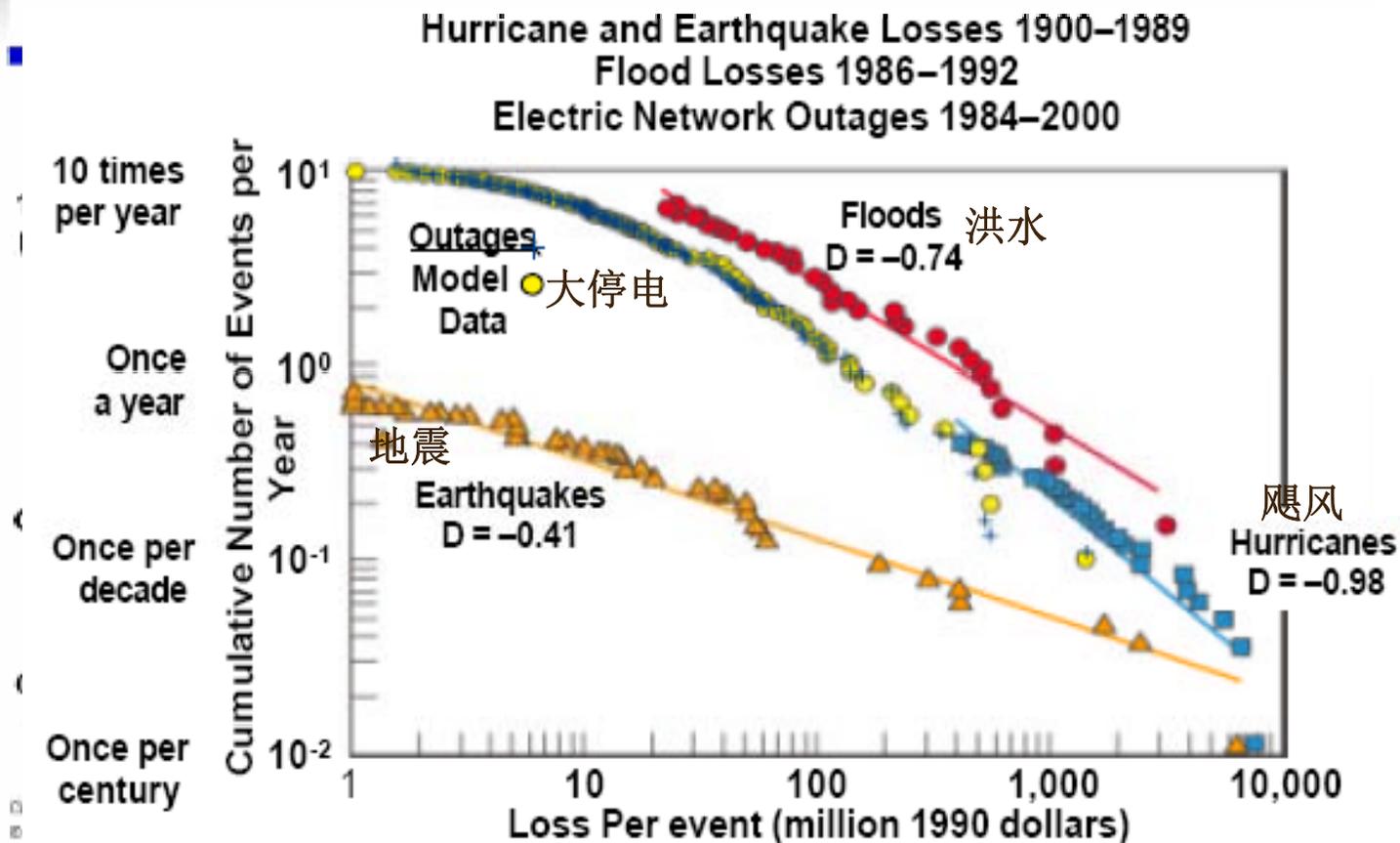


# 1、从经济学角度认识电能质量—— 停电和劣质电能造成的经济损失是巨大的

- △ 目前，绝大多数电能密集区都程度不同的为劣质电能所困扰。
- △ 从经济损失分析着手，对电能质量做出经济性评价和研究是近十年来的新变化。
- △ 据国际会议报告介绍，目前在美国，由于电能质量下降，每年的经济损失达200-300亿美元。无论是电力生产运行还是市场化运营，电能质量已不仅仅是一个技术问题。



## 停电事故日趋严重

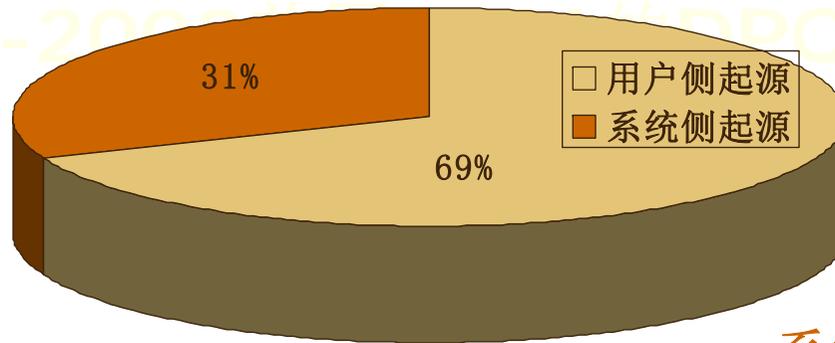


电网灾害性事件是可与重大自然灾害相提并论的大问题

# 电能质量的经济性分析与经济损失调查 ——2001-2003EPRI的DPQ-II项目

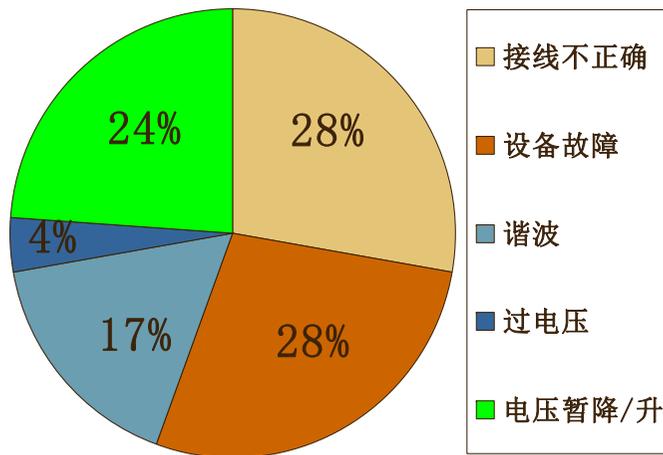


电压暂降、暂升、瞬时过电压和短时中断是美国电网中普遍存在的电能质量问题。

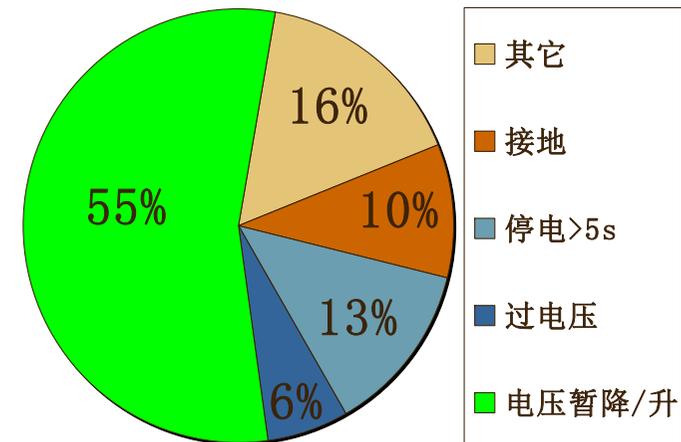


电力扰动来源

用户侧扰动类型



系统侧扰动类型

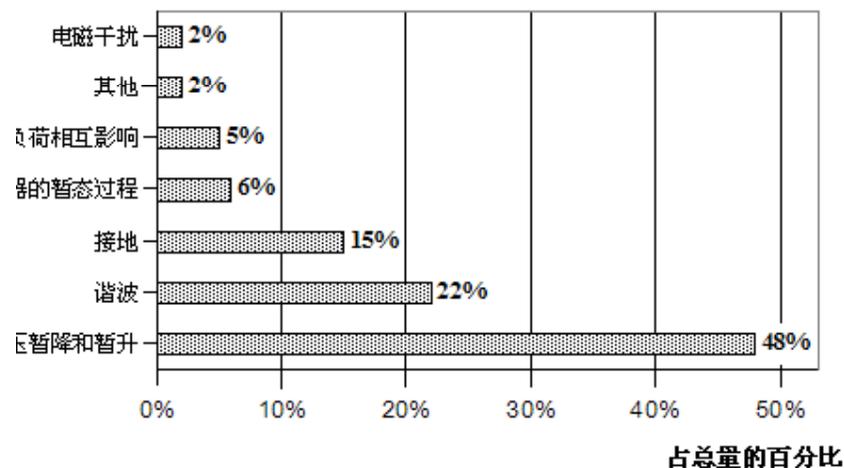
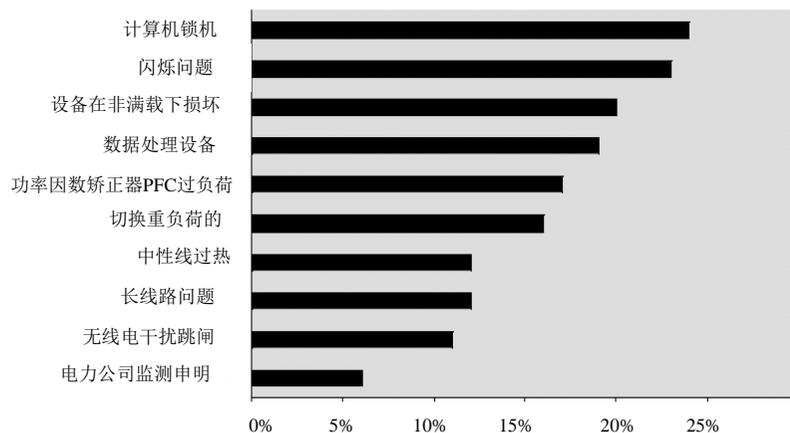


# 欧盟和美国的调查结果有所不同

LPQI在对欧盟8国的1400个监测点的电能质量调查认为，**谐波畸变、电压闪变、供电可靠性、电压暂降和电磁兼容**是欧洲电能质量的主要问题。但从经济分析与核算看，**电压暂降造成的损失最大。**

❖ 2001-2003EPRI的DPQ-II项目对美国电能质量进行了广泛调查，产生的结论是：

电压暂降、暂升、瞬时过电压和短时中断是美国电网中普遍存在的电能质量问题。**谐波问题并没有排在第一位。**



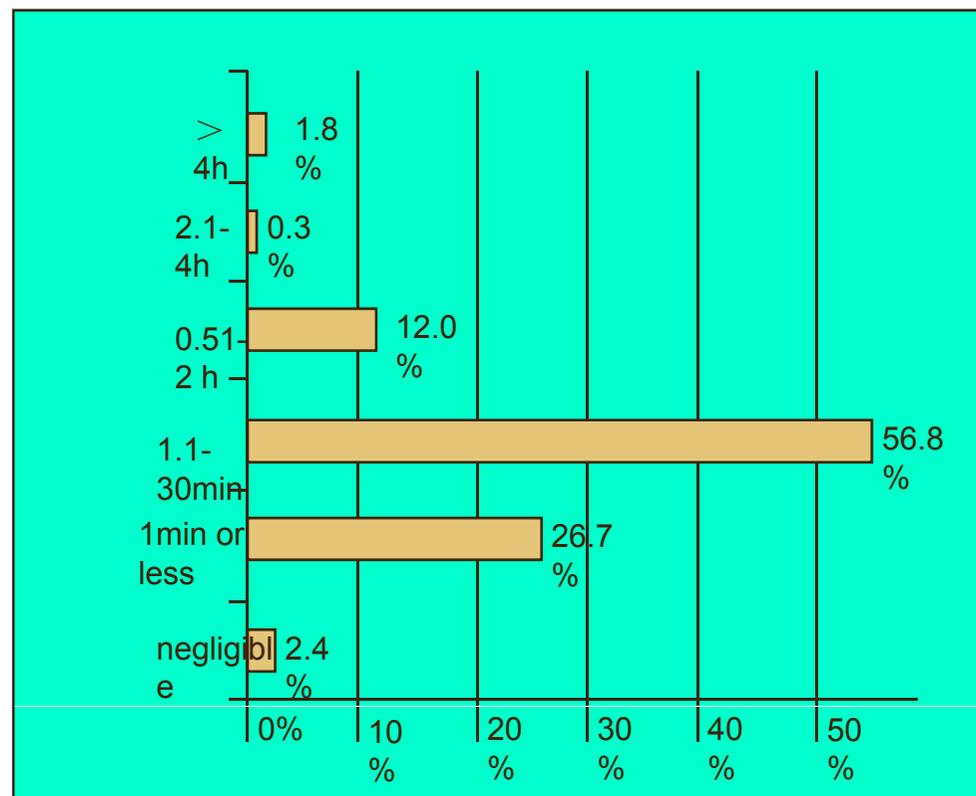


# 电压暂降和短时间中断造成的无序停电和恢复损失使其成为工业发达国家电能质量第一问题

如图所示，仅仅1秒钟的短时间电力中断会造成设备停产时间在1-30min的用户占到**56.8%**，大于30min的用户占到**14%**以上。超过2h的约占**2%5**。

因此，电压暂降和短时间中断造成的无序停电和恢复损失使其成为工业发达国家电能质量第一问题。

而电压暂降和短时间中断引起的设备不能正常工作在传统的供电可靠性计算中是不计入的。

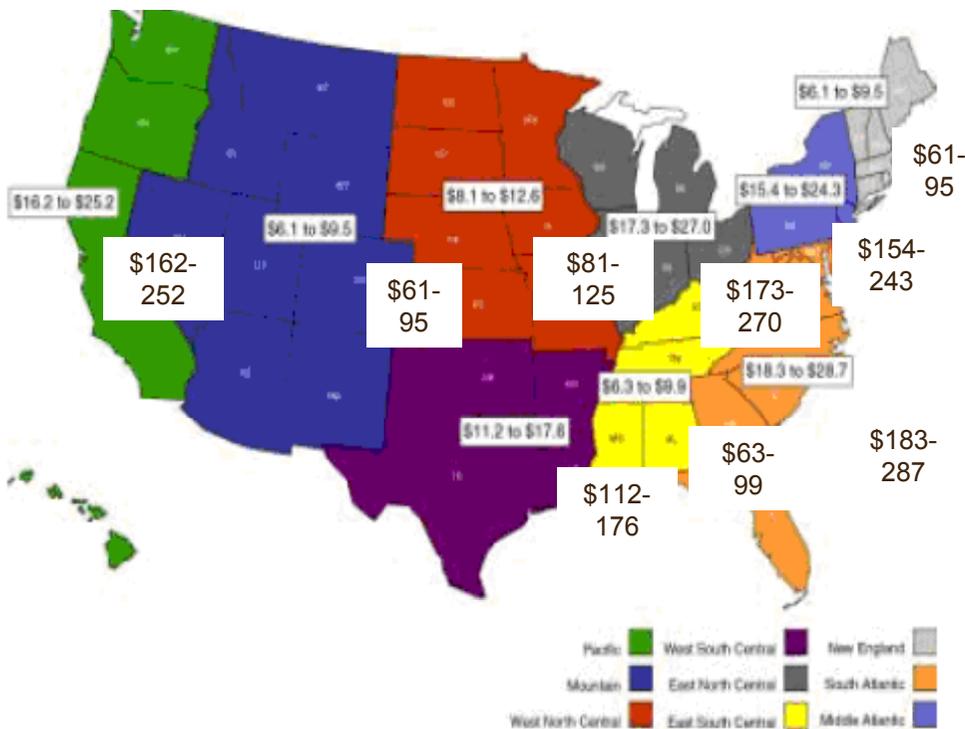


**1s**供电中断引起的设备停运持续时间

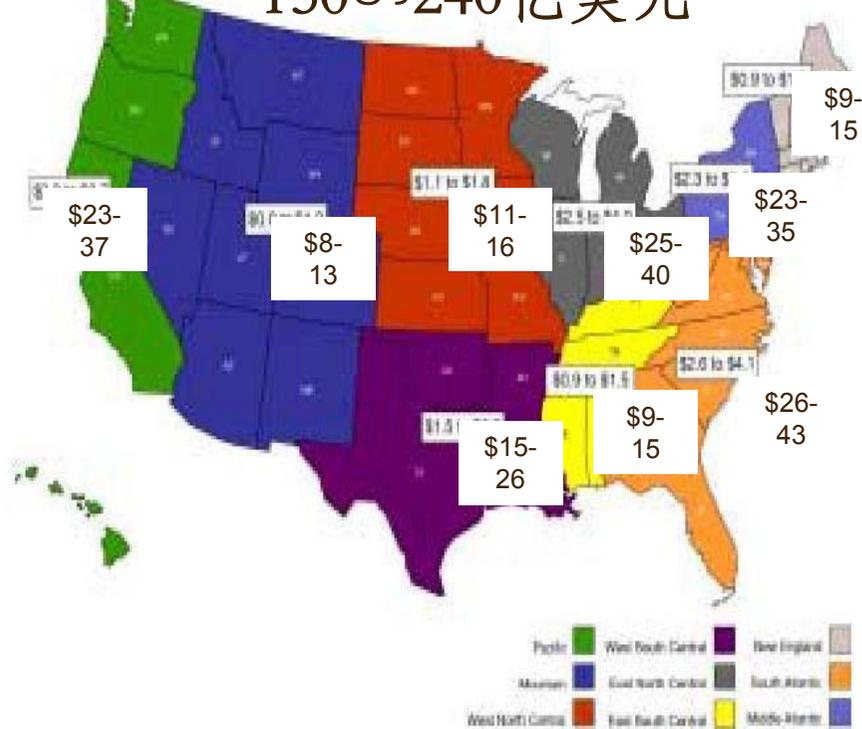


# EPRI—CEIDS

全美各地区总计年停电损失：  
1049~1642亿美元



全美各地区总计年PQ损失：  
150~240亿美元

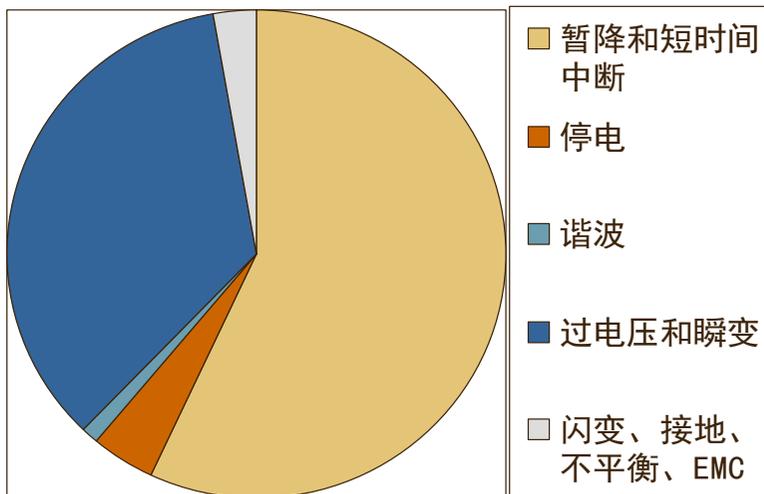


各地区停电对所有行业造成的预估成本（亿 \$）

各地区电能质量问题造成的年成本估计值（亿\$）

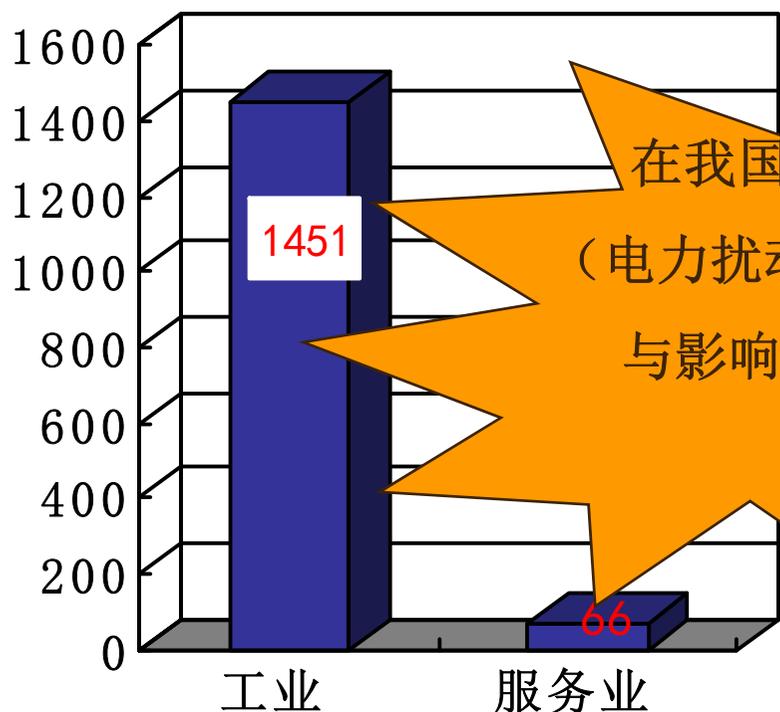


## LPQI - 欧盟对8国的实地调查结果

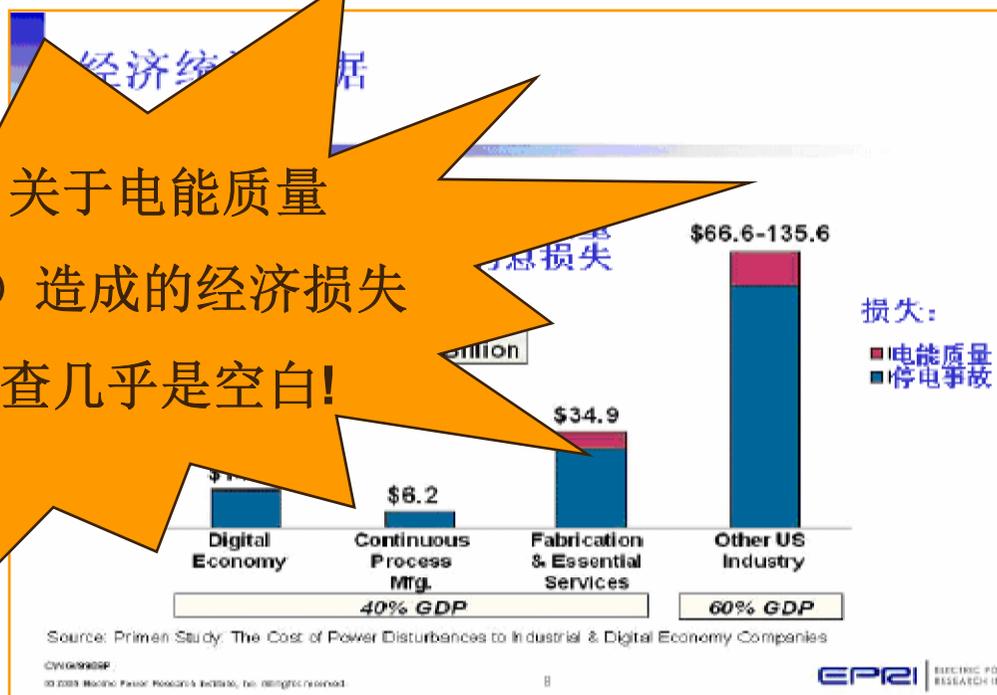


PQ 类型	平均损失/事件
暂升或瞬变	120000-180000 €
长时间中断	90000€
工业短时间中断	7000-14000€
电压暂降	2000-4000€

## 欧盟、美国电力经济性调查与劣质电能损失评估



在我国，关于电能质量（电力扰动）造成的经济损失与影响调查几乎是空白！



LPQI - 欧盟25国PQ经济评估——

劣质电能总成本1517 亿€

全美总计年停电损失：1049~1642亿美元

全美总计年电能质量损失：150~240亿美元



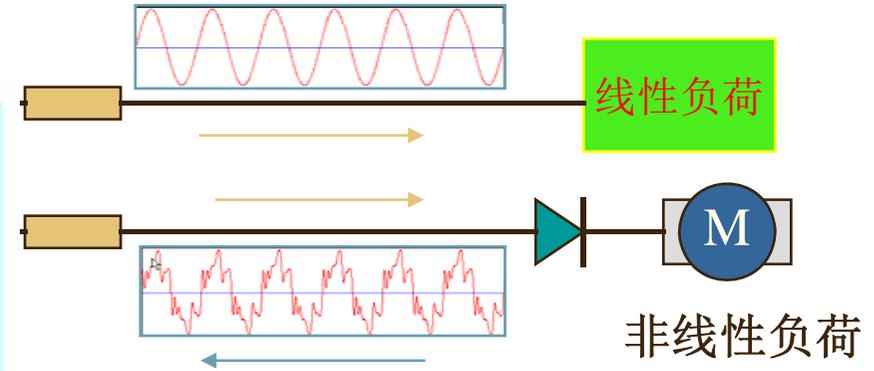
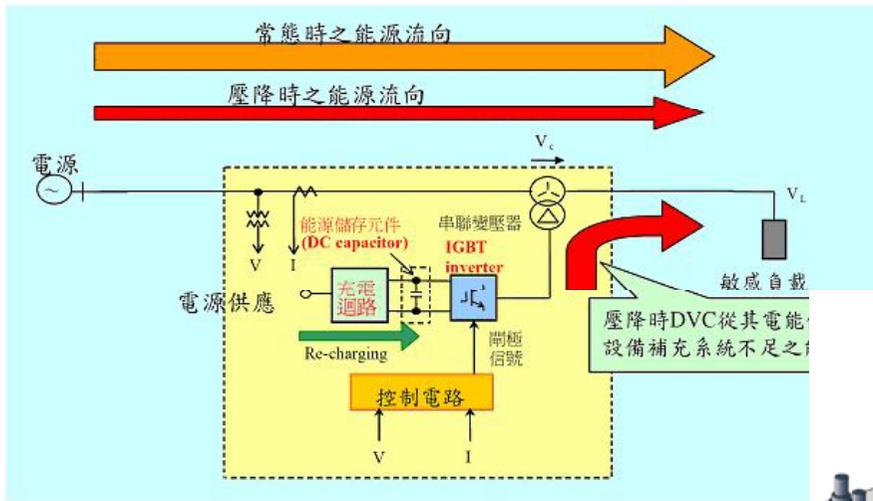
## 2、从经济学观点提出了电能质量的市场价值

- ❖ 由于电能质量有其自身的价值，所以必须在成本和质量之间做出取舍。在经济利益驱动下，电力用户会选择某一水平的电能质量（质量价值分等级），以适应他们的作业活动。
- ❖ 清洁的电磁环境是公共的财产，需要加以控制和保护。这是一项重要的资源，必须以可持续的方式来使用。问题是，要由谁来负责和承诺改善劣质的电能质量，又由谁来维持现有的电能质量水平？
- ❖ 电力零售商、配电系统运营商、设备制造商和用户必须共同努力合作电能质量才能保证。由于这种改善措施的投资昂贵，所以，在电能质量合同的基础上，需要为每个合作方制定责任标准或运行准则。
- ❖ 另一种可能是建立一个电能质量市场，如果可行，所分配的电力扰动许可量可以进行交易。
- ❖ 由此，以减小电力扰动为目标的投资变得有市场，是一个利好的商机

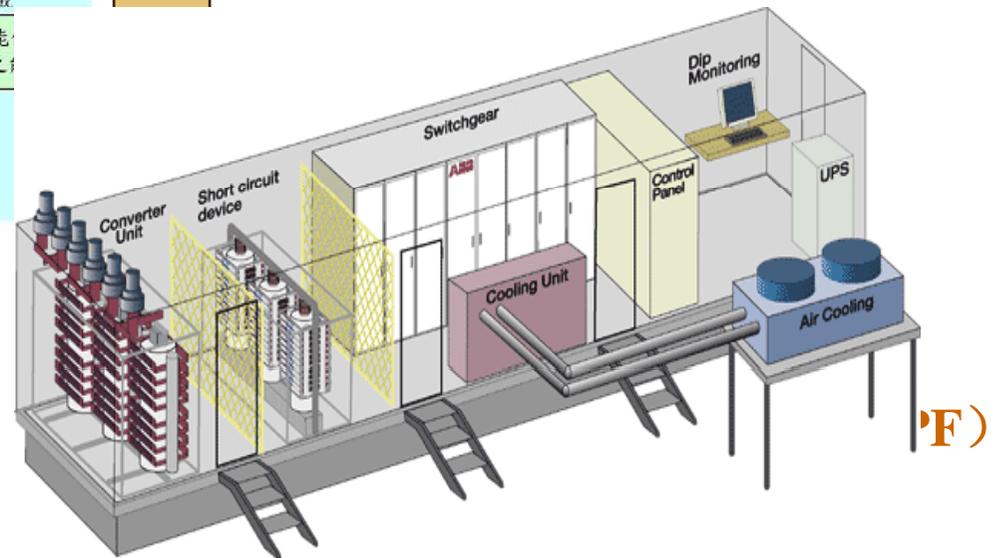
(电能质量的附加经济价值)

# 越来越多的用户主动采用电压暂降缓解器和有源电力滤波装置抑制谐波等问题

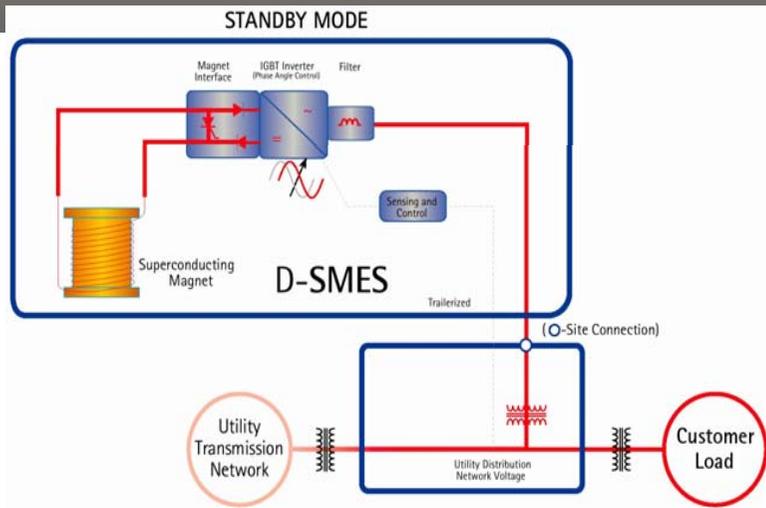
## 動態電壓補償器 (DVC)



化，将非线性负荷中除了基波分量之外的其它成分消除掉，从而保证系统电源的纯洁性。

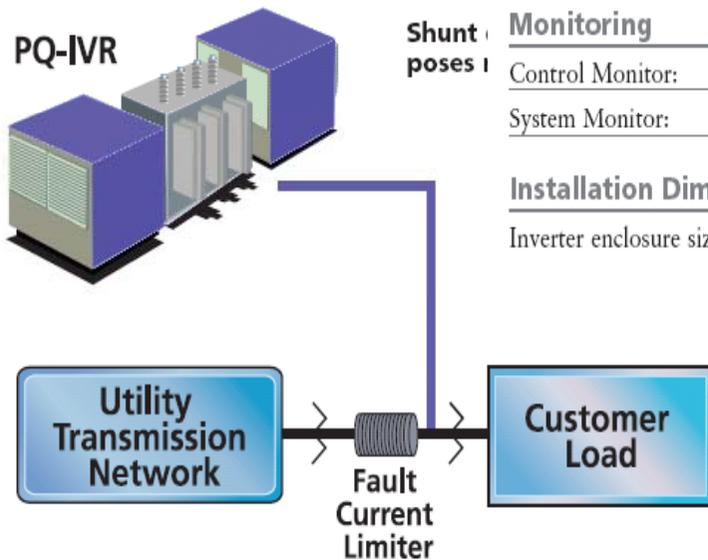


# 分布式超导磁储能系统 (D-SMES)



短时快速补偿有功增加  
系统容量  
提高电压质量

采用有储能元件的逆变器 (DSTATCOM, 以并联方式同样可以缓解电压暂降问题。



## Power Ratings

Load Voltages:	400 V to 46 kV
Frequency:	50 or 60 Hz
Unit Output:	2 - 100 MVAR reactive
Response and Rebuild Time:	Approx. 1.5 cycles
System Efficiency:	>99%

## Power Electronics

Inverter:	IGBT, 4-quadrant
Rating:	4 MVA modules with 2 second overload rating of 2.67 times continuous
Output:	480V, combined 3 $\phi$ control (independent 1 $\phi$ control)

## Monitoring

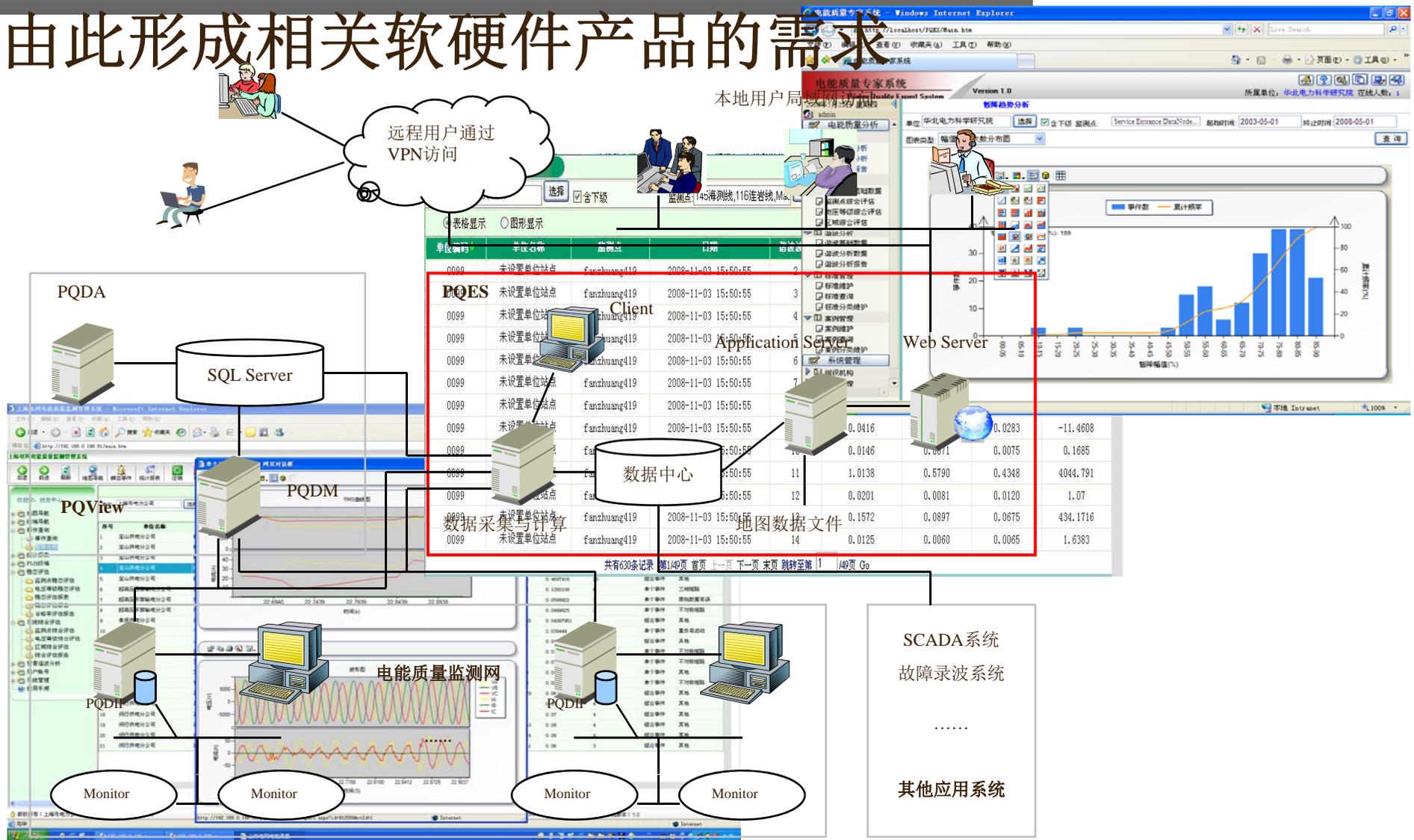
Control Monitor:	Subcycle monitoring of customer voltage
System Monitor:	Interface to customer SCADA, remote monitoring optional

## Installation Dimensions

Inverter enclosure size



# 3、在我国网络化电能质量监测系统逐渐建立， 由此形成相关软硬件产品的需求





**3、 电能质量监测系统正在走向网络化、信息化、标准化（国内开始采用PQDIF,PQview）；从表征现象的海量数据到对电能质量进行全面指标评估、等级评估；**

**建立电能质量智能信息系统和控制决策支持系统；将电能质量监测、控制与保障、经济投资与综合治理构成一项系统工程。**



# 中国电能质量标准化组织工作逐渐走向成熟

## 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会（1978）

（已颁布6项电能质量国家标准，其中4项已修订报批，新增1项，谐波标准仍在讨论）

## 全国电磁兼容标准化技术委员会

## 低频现象分技术委员会（2008）

## 电力行业电能质量与柔性输电标准化委员会

## 中国电源学会电能质量专业委员会（2008）

## 其他行业性电能质量相关标准组织

## 以电能质量为刊物名的信息交流平台



国际铜业协会（欧洲）项目负责  
（300万欧元）



欧盟委员会投资  
实施32个月的项目



莱昂纳多电能质量项目技术指导

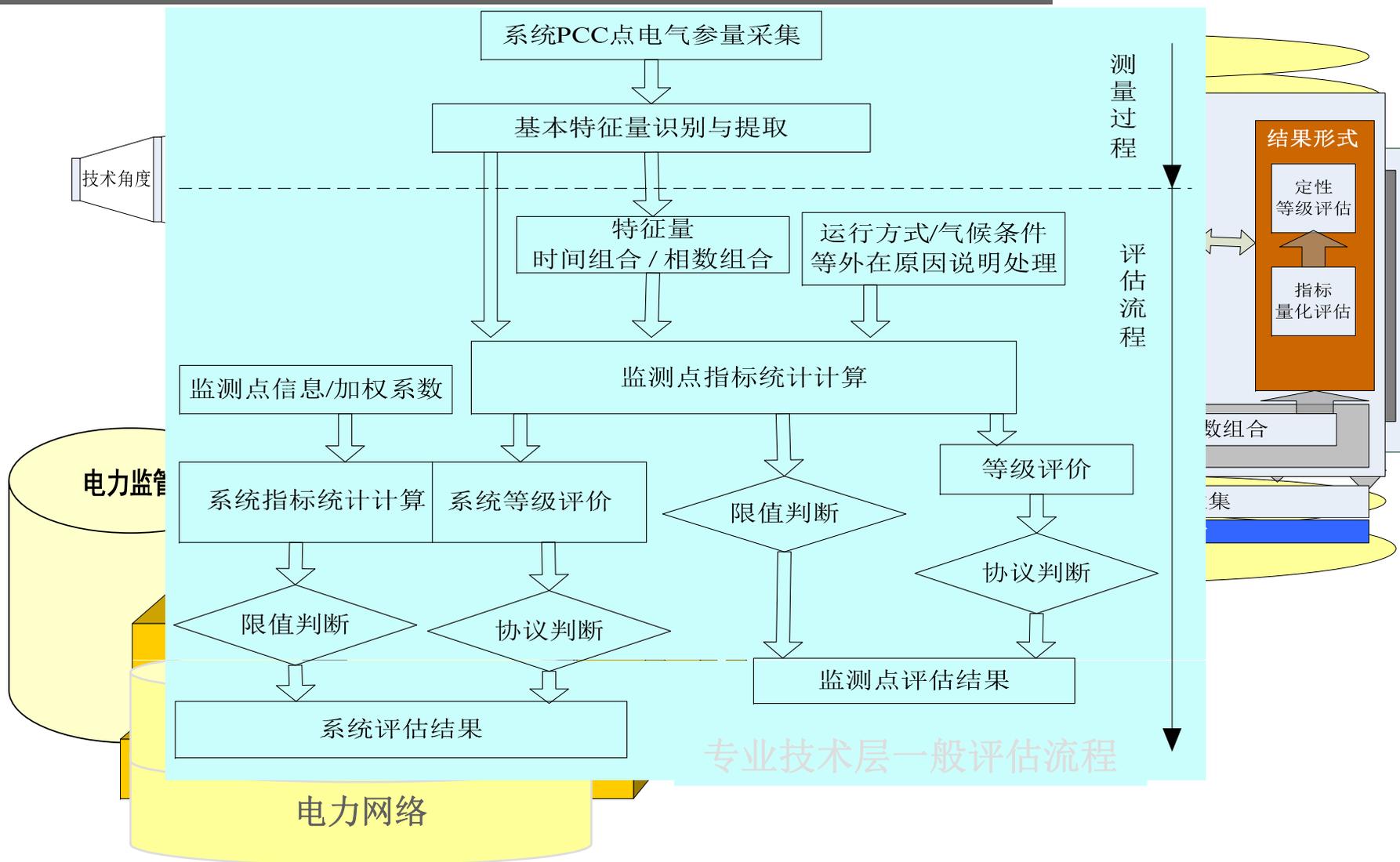


欧盟-亚洲电能质量项目中国合作组

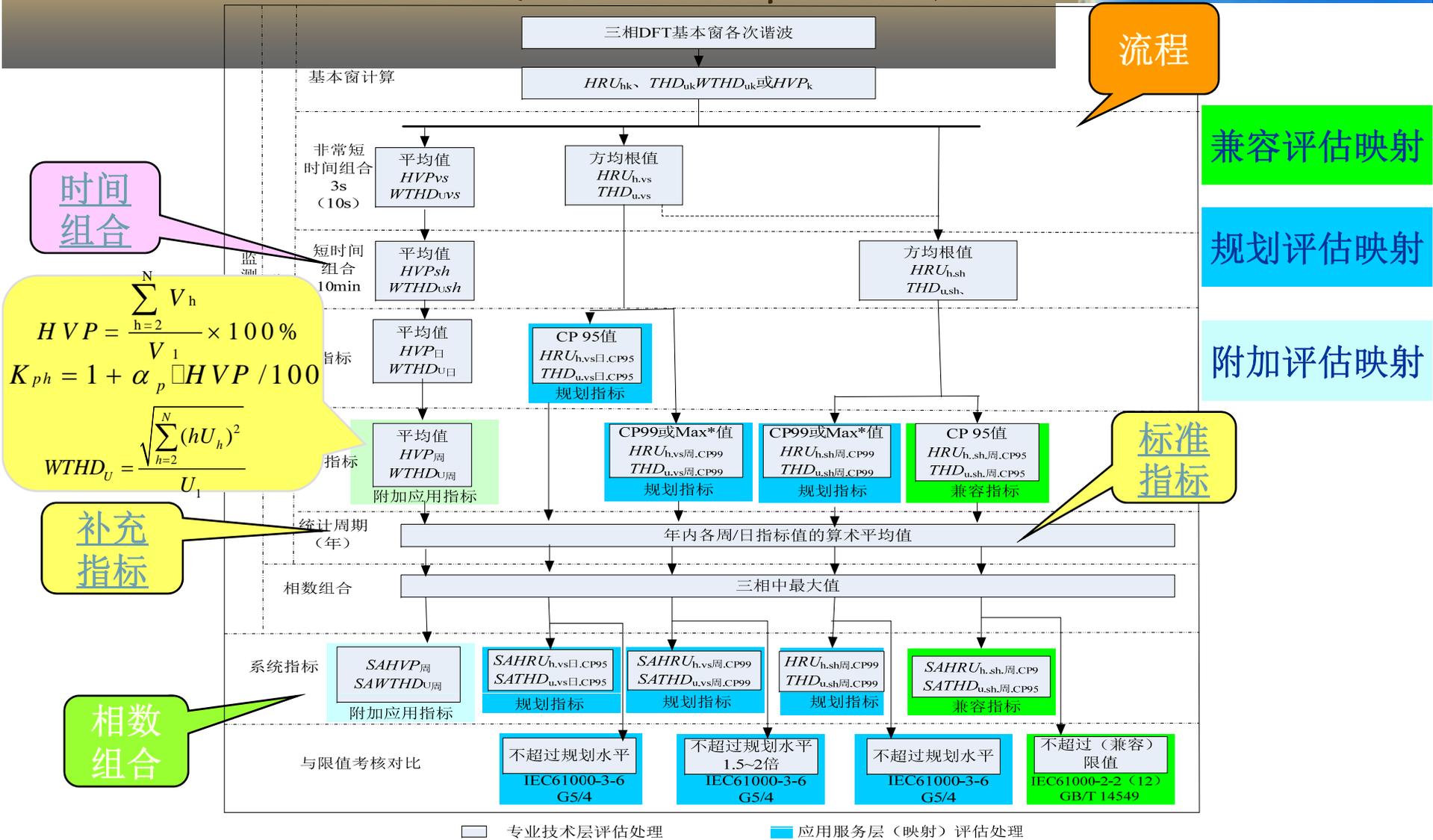
（成员单位有：5所大学，中国电科院，上海电力公司，10余家制造公司，共22家单位）



# 评估体系架构



# 谐波电压评估模型



**时间组合**

$$HVP = \frac{\sum_{h=2}^N V_h}{V_1} \times 100\%$$

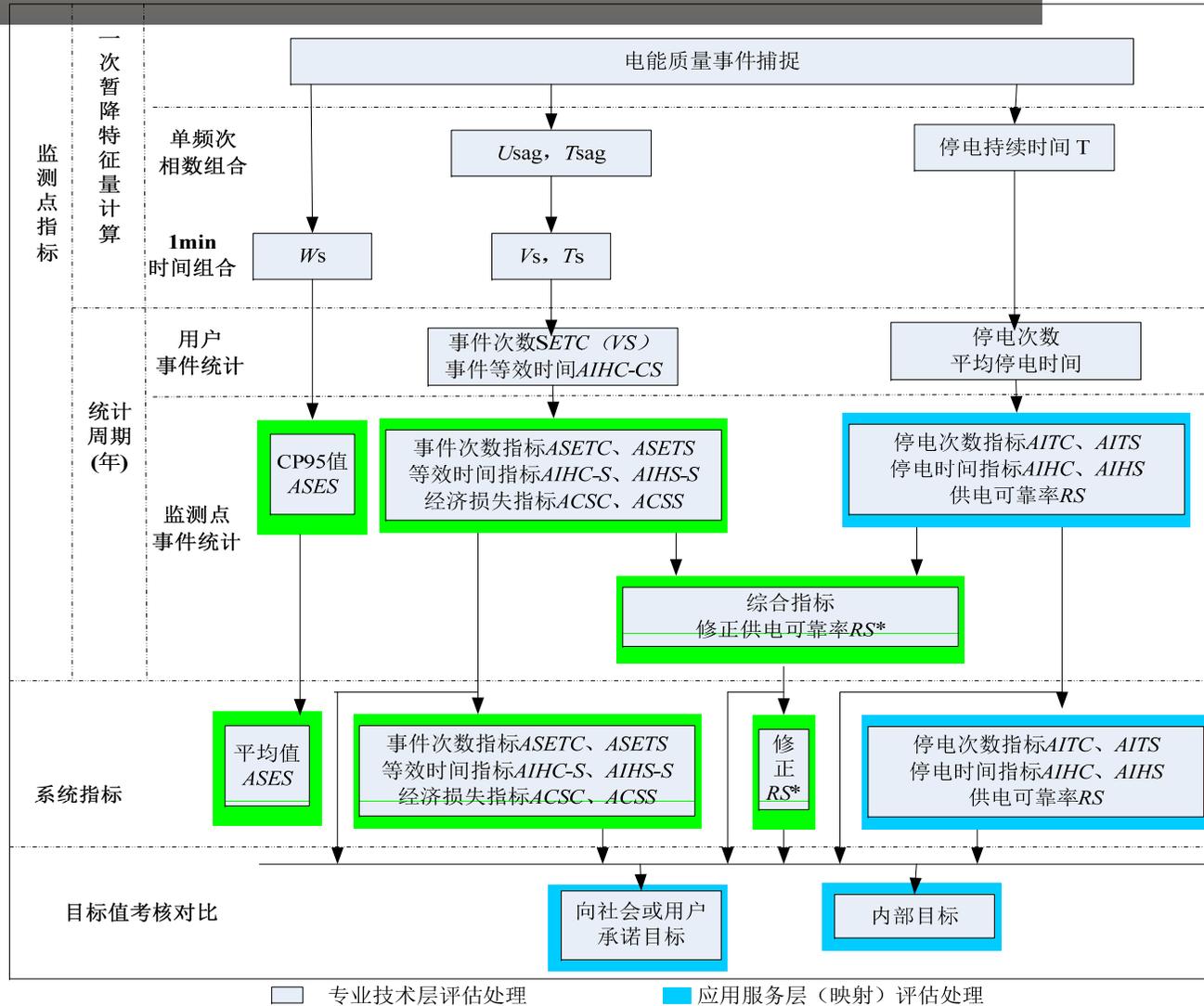
$$K_{ph} = 1 + \alpha_p \square HVP / 100$$

$$WTHD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N (hU_h)^2}}{U_1}$$

**补充指标**

**相数组合**

# 事件型电能质量评估模型





# 世界部分国家正在制定新能源并网的技术导则或行业标准



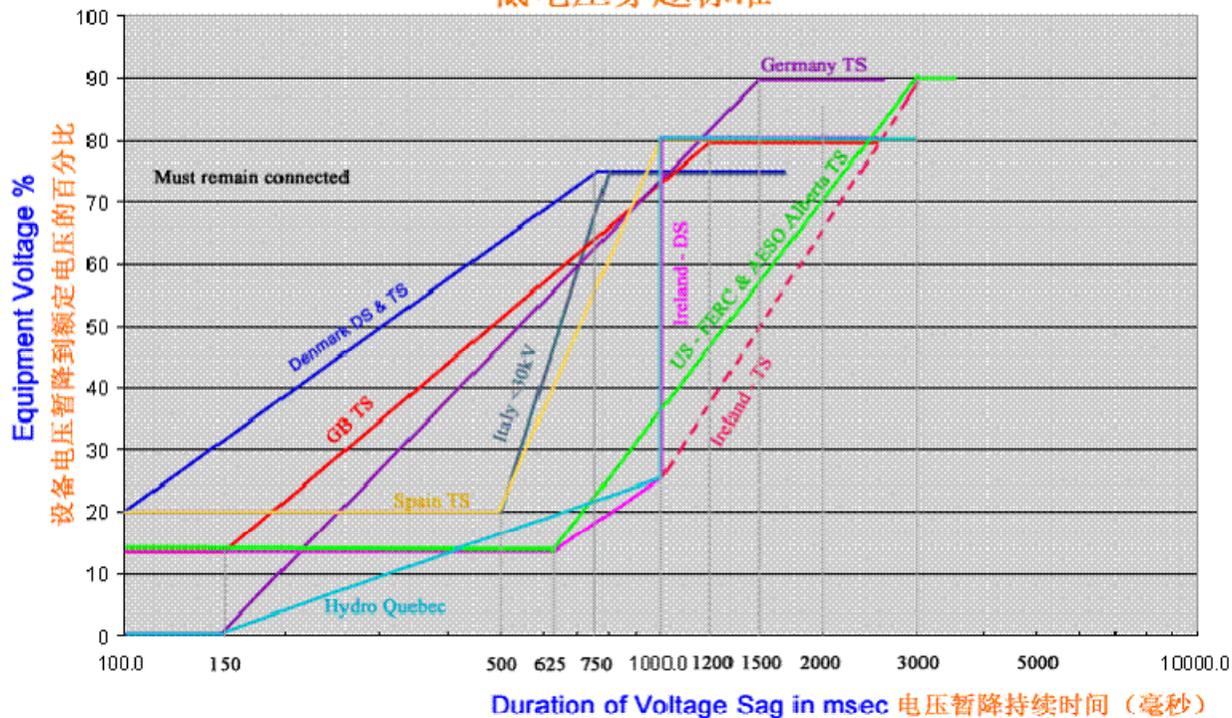
中国的新能源政策已经确定：大力建设若干个规模化“三峡”风电；发展核电，大力推进风能和太阳能的利用。

新能源相关产业正在兴起！

面向整个电力系统的一系列标准指标和限值的制定是难以回避的艰难挑战！

### Low Voltage Ride Through Standards

### 低电压穿越标准



# 南非PQ标准 (ESKOM) : NRS048-2, 2004 智利的暂降、暂升PQ标准: DS327, 1997



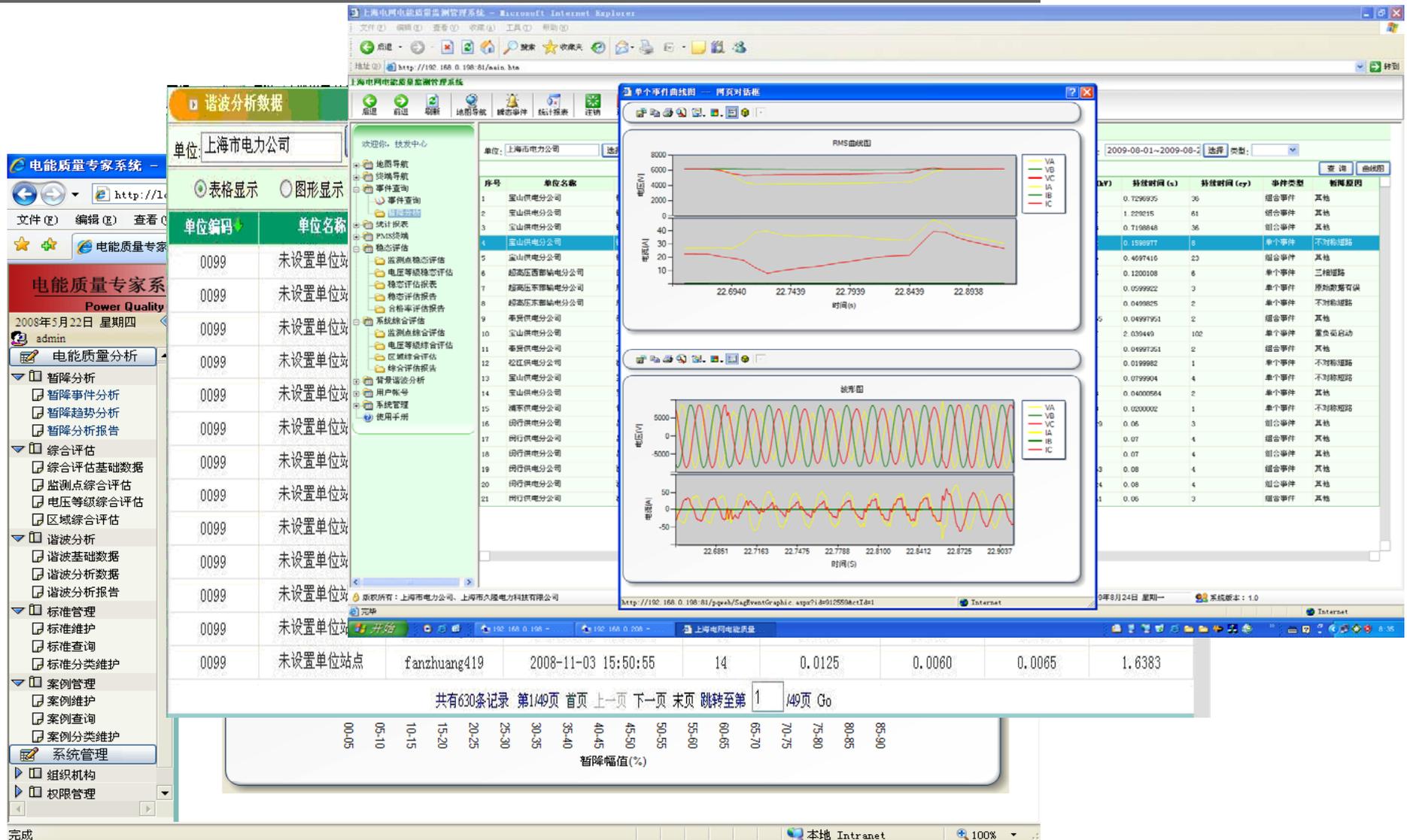
■ : 大部分用户设备需要有对此类事件的承受能力

暂降幅值 U%	持续时间 t		
	$20 \leq t < 150$ ms	$150 \leq t < 600$ ms	$0.6 \leq t < 3$ s
$90 > U\% \geq 80$			
$80 > U\% \geq 70$		S	Z1
$70 > U\% \geq 60$	X1		Z2
$60 > U\% \geq 40$	X2		
$40 > U\% \geq 0$	T		

电压等级 kV	监测点的百分比	年暂降频次限值					
		X1	X2	T	S	Z1	Z2
$44 < U\% \leq 132$	50%	13	10	5	7	4	2
$> 132$		8	9	3	2	1	1
$44 < U\% \leq 132$	95%	35	35	25	40	40	10
$> 132$		30	30	20	20	10	5

❖ 《电力系统电压暂降指标—Voltage sag indices in electrical power systems》2009.03.18

# <电能质量智能信息系统>界面示例



The screenshot displays the '电能质量专家系统' (Power Quality Expert System) interface. It includes a navigation menu on the left, a main data table, and several analysis windows.

**Table 1: Unit List**

单位编码	单位名称
0099	未设置单位站

**Table 2: Event Log**

时间	持续时间 (s)	持续时间 (ey)	事件类型	故障原因
0.7296955	36		组合事件	其他
1.228215	61		组合事件	其他
0.7198848	36		组合事件	其他
0.1586977	8		单个事件	不对称短路
0.4097416	23		组合事件	其他
0.1200108	6		单个事件	三相短路
0.0599952	3		单个事件	原始数据有误
0.0499825	2		单个事件	不对称短路
0.04997951	2		组合事件	其他
2.039449	100		单个事件	重负荷启动
0.04997351	2		组合事件	其他
0.0199882	1		单个事件	不对称短路
0.0799904	4		单个事件	不对称短路
0.04000584	2		单个事件	其他
0.0200002	1		单个事件	不对称短路
0.06	3		组合事件	其他
0.07	4		组合事件	其他
0.07	4		组合事件	其他
0.08	4		组合事件	其他
0.08	4		组合事件	其他
0.06	3		组合事件	其他

**Table 3: Voltage Sag Data**

时间	持续时间 (s)	持续时间 (ey)	事件类型	故障原因
22.6940				
22.7439				
22.7939				
22.8439				
22.8938				
22.8851				
22.7163				
22.7475				
22.7788				
22.8100				
22.8412				
22.8725				
22.9037				

**Table 4: Sag Amplitude (%)**

时间	幅值 (%)
00:05	
05:10	
10:15	
15:20	
20:25	
25:30	
30:35	
35:40	
40:45	
45:50	
50:55	
55:60	
60:65	
65:70	
70:75	
75:80	
80:85	
85:90	
90:95	



# 可能开展的研究方向与课题

- ❖ 劣质电能成本调查工作与统计计算方法研究
- ❖ 开展电能质量经济学研究
- ❖ 治理理论与方法、电能质量技术经济的综合协调；电能质量控制装置研发与应用
- ❖ 研究电能质量数据的自动化分析方法，实现智能化电能质量信息处理与分析
- ❖ 面向新能源电力系统的一整套标准指标和限值的制定



## 可能开展的研究方向与课题

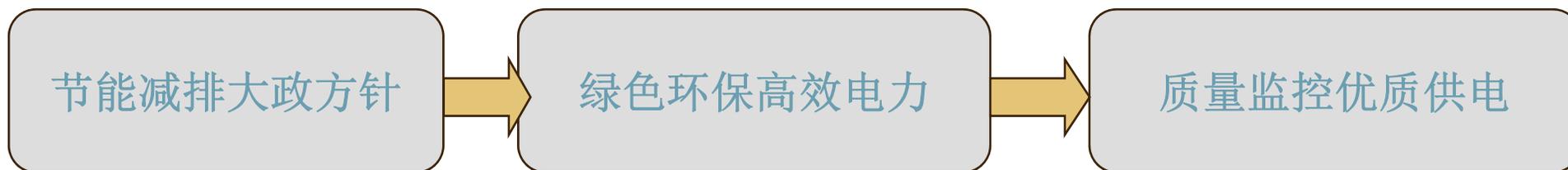
- 1) 针对单次谐波识别, 波形畸变识别由目前采用的 **200ms** 波形窗, 提出增大波形窗时间的方法, 选择最合适的测量窗;
- 2) 对海量记录数据的处理方法的研究, 实现自动提取扰动重要信息和数据, 从第一层信息 (单一检测指标与目标值的简单对比) 到第二层次 (站点指标、系统指标) 的转变;
- 3) 在保证底端精确检测单一指标指示值的基础上, 逐渐过渡到对单一指标和综合指标的准确评估; 为按质论价创造理论、方法和数据的条件。



#### 四、国内在电能质量控制技术方面的研发进展

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（**2006—2020年**）》中明确将“电能质量检测与控制技术”列为能源重点领域的优先主题内容。有效开展大功率电力电子技术应用、实现电能质量控制等。

开展电能质量监测与控制是国家战略发展的需要，  
已经列入国家级重点项目



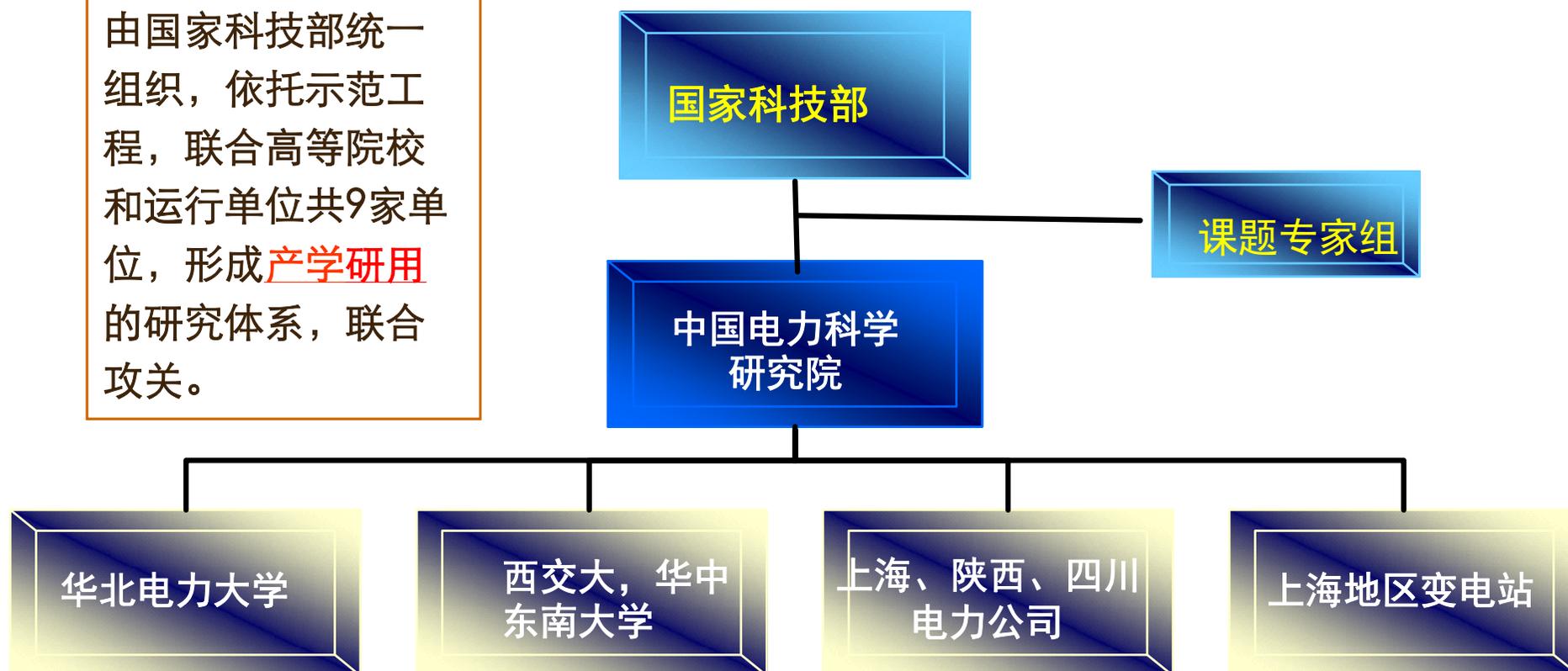
《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》中明确将  
“**电能质量检测与控制技术**”列为能源重点领域的优先主题内容。开展有效  
应用大功率电力电子技术、实现电能质量控制等；  
我国电力工业正在走向高效“节能减排”的新时代！



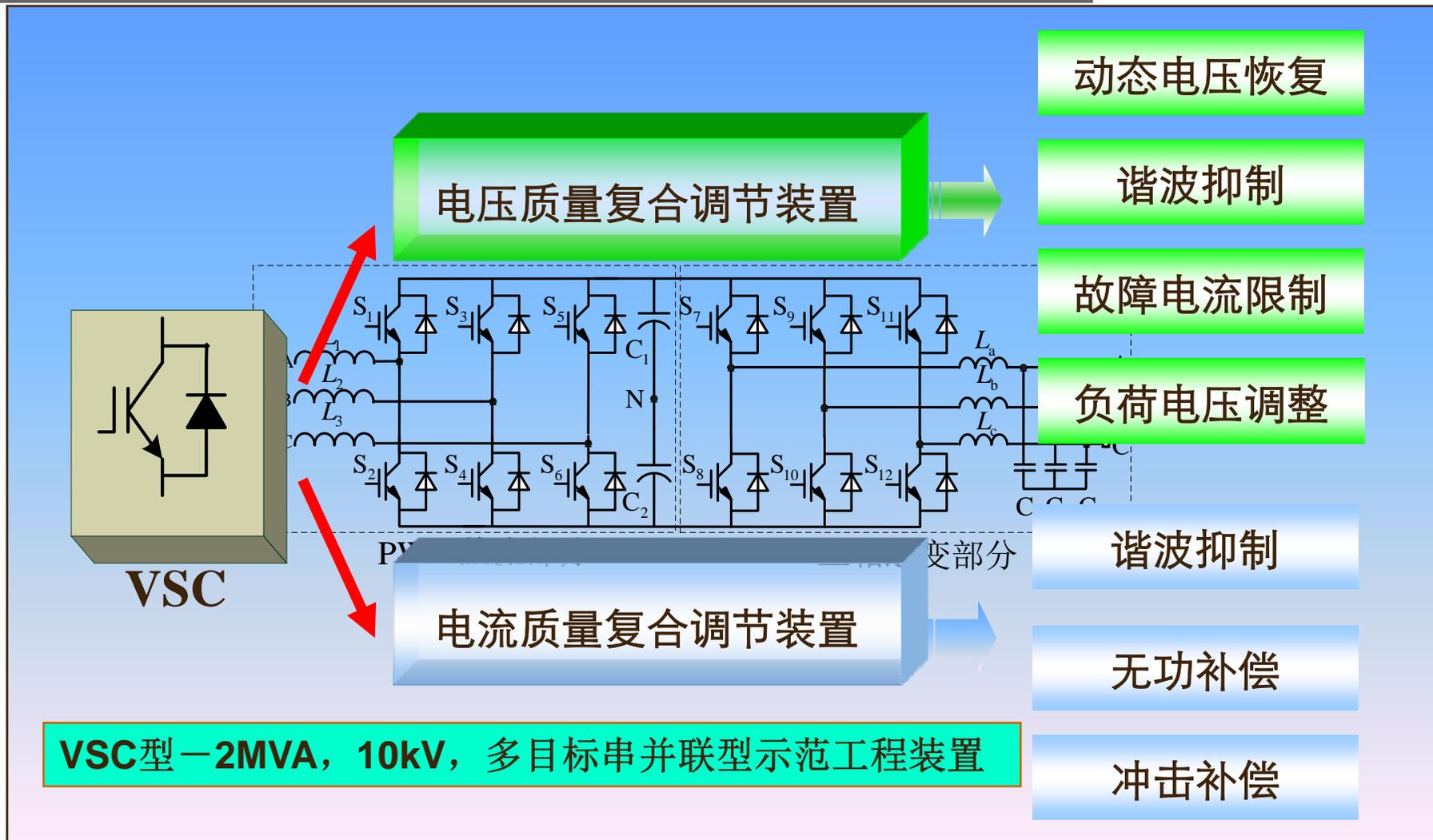
# “十一五” 国家科技支撑计划电力电子重点项目

## —电能质量复合控制装置研制08年正式启动

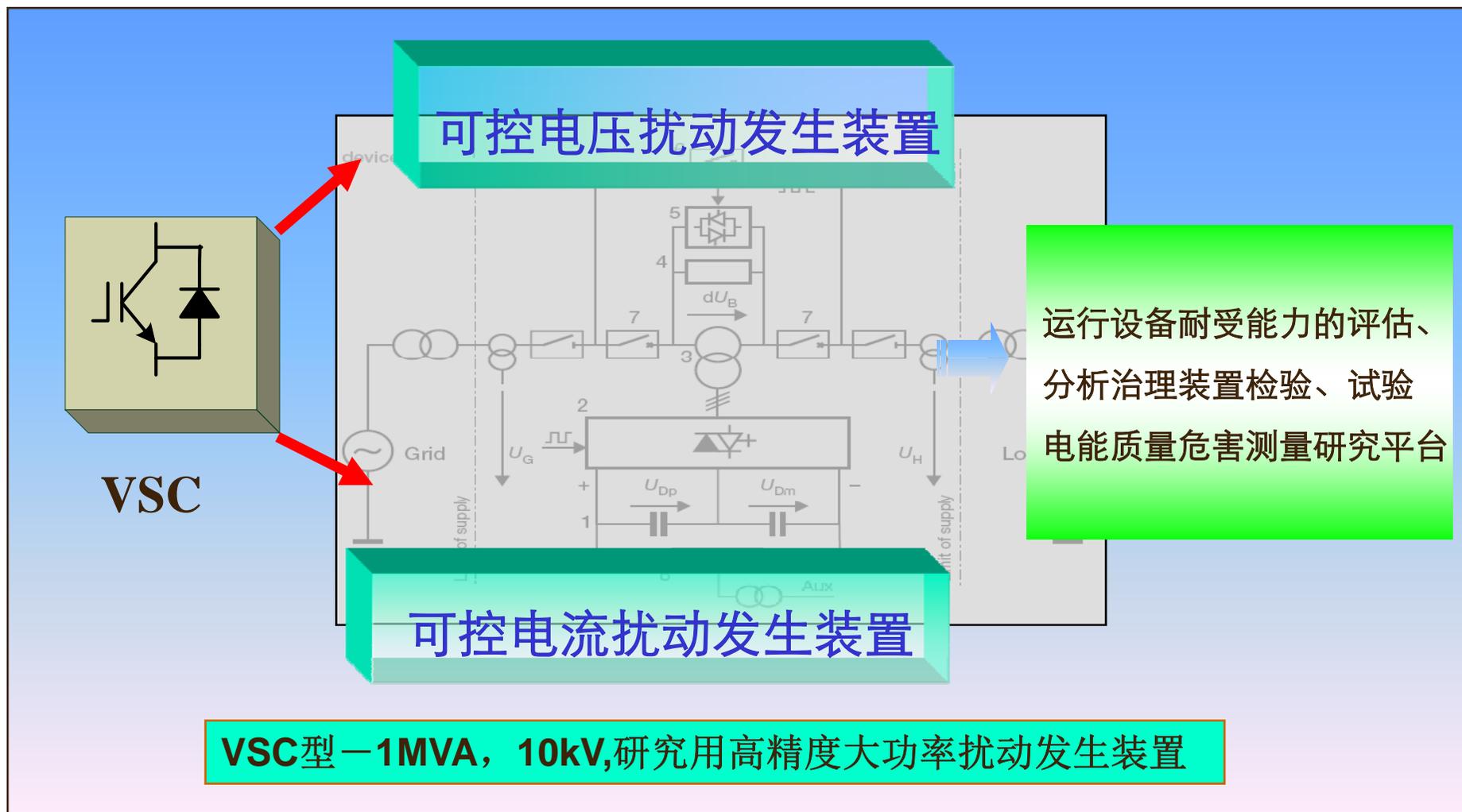
由国家科技部统一组织，依托示范工程，联合高等院校和运行单位共9家单位，形成产学研用的研究体系，联合攻关。



# 主要任务1：国家科技支撑计划电力电子重点项目 —电能质量复合控制技术

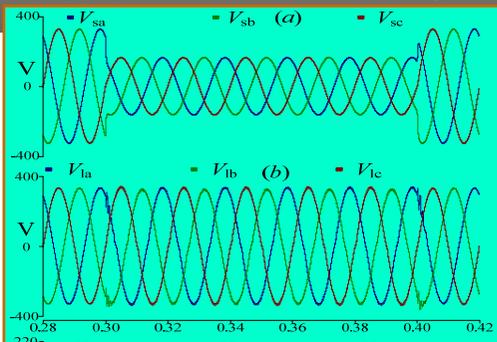


# 主要任务2：国家科技支撑计划电力子重点项目 —大功率可控电力扰动发生装置

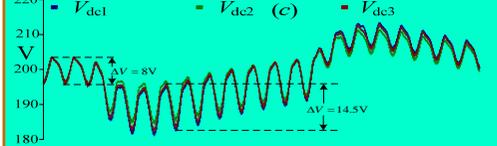


# ◆ 电能质量复合扰动发生和补偿控制装置将在年内投入 (10kV) 示范工程

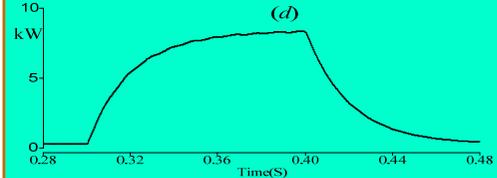
系统电压



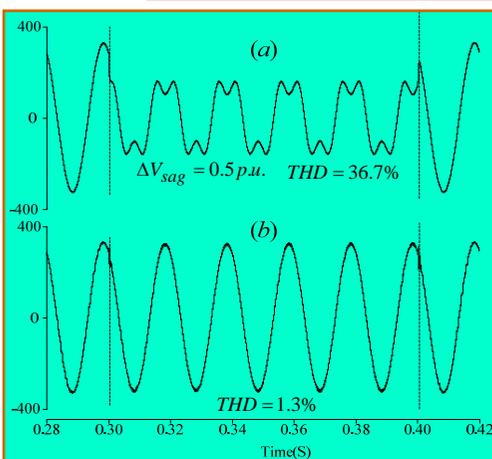
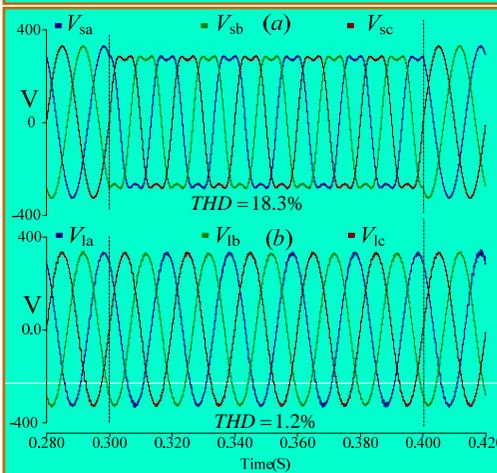
负荷电压



直流电压



有功功率



电流型电能质量复合控制装置样机



## 展望与结语

- ❖ 多样性非线性负荷和敏感性负荷产生的电能质量新问题会愈加复杂，面对新能源电力系统带来的新的机遇与挑战，组织起来全面开展电能质量理论与方法、标准与评估、监测与治理等领域的研究势在必行。
- ❖ 电能质量领域仍然是一个相对不完善而且权责不分明的领域。促进我国关于劣质电能成本的调查工作早日开展；启动电能按质论价，按级供应的理论与实践研究，填补我国电能质量经济学研究的空白。
- ❖ 电能质量标准的系统化工作将继续深入，逐渐由单一指标值与目标值简单逻辑判断提升到站点指标和系统指标相结合、技术与经济相结合的电能质量指标体系与评估；努力开展电能质量监测及智能信息系统的推广应用。
- ❖ 与此同时，电能质量控制手段与治理措施的进步必将带动电能质量新兴产业的发展。



华北电力大学

NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY

真诚希望在此领域与各界同仁紧密合作，在电能质量领域形成持续深入的研究态势，努力推动我国电力系统、电力用户和电气设备制造业在电能质量上的科技发展与进步。

请指正，  
谢谢！