

前言

经国家电力公司批准，国际供电会议（CIRED）中国联络委员会组织有关科研、运行及制造单位代表一行 12 人，参加了 2002 年 8 月份马来西亚联络委员会主办的国际供电会议组织（地区）专题研讨会 CIRED KL2002。会议前后，代表团考察了韩国、马来西亚、新加坡、香港电力公司。考察报告主要汇报了对这些电力公司改革实践配电网自动化和电能质量管理工作的认识、体会。

电能质量是 CIRED KL2002 会议的一个重要议题。会议邀请美国专家 Mcgranaghan 先生进行了电能质量专题技术讲座。会议上 54 篇论文中有 12 篇是关于电能质量的。

近年来，马来西亚、新加坡及香港等电力公司与欧美发达国家一样，十分重视电能质量，成立专门机构负责电能质量管理，做了大量工作，解决用户电能质量问题。

随着经济发展和高科技设备的广泛应用，用户对供电质量要求的提高，使电能质量问题日益突出，引起了广大电力工作者的重视。CIRED 组织上届主席 Connerotte 先生在大会的专题发言中，把电能质量问题列为当前国际供电界关注的首要技术问题。

电能质量的首要问题是电压骤降，应该作为研究解决的重点。在这次马来西亚会议上有论文介绍，在用户电能质量问题投诉中，90%以上是电压骤降引起的。

电能质量问题已提到了一些经济发达国家（或地区）电力公司的议事日程。相比较而言，在我国，在电能质量问题认识上和措施实践方面存在差距，还顾不上开展细致的电能质量管理工作。日常工作上，对电能质量问题的把握也不够全面，主要集中在电压合格率及谐波方面，对电压骤降以及供电瞬时中断引起的电能质量问题、危害及其反措认识不足。在电力体制深化改革的同时，应当加强电能质量问题（特别电压骤降问题）的研究与管理工作。

1 电能质量问题及其管理的基本内容

这里主要介绍电能质量基本概念、电压骤降、电能质量监测以及电能质量管理方面的内容要点。

1.1 电能质量的基本概念

站在不同角度，关注或表征电能质量问题会有不同的观点。从供电角度看，电能质量是指供应电力的参数符合标准和供电可靠性的程度；从用电设备生产商的角度看，电能质量是指对设备所要求的电能特性；从用户角度看，电能质量是指一切会引起用电设备异常运行、故障或停电的供电电压、电流及频率的异常扰动。通常，电能质量问题主要反映为电压质量问题。

电压质量扰动可分为稳态与暂态二类。稳态扰动包括电压偏差、三相不平衡、闪变以及谐波问题；暂态扰动包括暂态过电压、电压骤降、电压骤升以及供电瞬时中断问题。从发生的频度以及对用电设备的危害程度来看，现代电能质量问题主要是电压骤降、谐波、电压不平衡以及闪变。据统计和案例反映，造成用户用电设备异常运行或停电的绝大部分因素是电压骤降问题。

解决电能质量问题，首先涉及到的是供电企业、用户以及用电设备制造商；进一步需要设计、咨询、标准化组织、研究部门以及监测仪器制造商的广泛参与。

1.2 电压骤降

电压骤降是指供电电压幅值（有效值）短暂降低，随后恢复正常的特征。

根据欧洲标准 EN50160 以及美国国际电气电子工程师协会推荐标准 IEEE Std1159—1992，电压骤降（voltage dip 或 voltage sag）定义为：供电电压有效值突然降至额定电压的 90%~10%（0.9 p.u. ~0.1 p.u.），然后又恢复至正常电压，这一过程的持续时间为 10 ms 至 60 s。

供电可靠性反映的是供电中断程度，一般只考虑持续时间 5 min 以上的电压中断问题，有的国家对 1 min 以下的中断不予统计。随着经济的发展，高科技设备获得了广泛的应用。这些设备对电压变化很敏感，短时的供电中断或电压有效值下降，往往会造成设备不正常运行，发生停机等事故。电压骤降就是针对这一问题提出的。

引起电压骤降的主要原因是电网或用电设备发生雷击、外力短路故障，一些用电设备（如电动机）启动或突然加荷也会造成电网电压瞬时下降。与长时间供电中断事故相比，电压骤降有发生频度高，事故原因不易觉察的特点，处理起来也比较困难。

电压骤降会引起敏感控制器不必要的动作（引起跳闸），造成包括计算机系统失灵、自动化控制装置停顿或误动、变频调速器停顿等；引起接触器停顿或低压保护启动，造成电动机、电梯等停顿；引起高温光源（碘钨灯）熄灭，造成公共活动场所失去照明。因此，电压骤降会给工商业带来很大的经济损失，甚至会危害人身及社会安全。

长期以来，对电能质量的研究主要集中在电压偏移、谐波、闪变、不平衡等方面，对电压骤降问题重视不够，一个重要的例证是目前国际上还没有正式的电压骤降技术标准。随着高科技发展、应用，电压骤降的危害日益显现。实际上，目前造成用电设备不运行的主要电能质量问题是电压骤降及供电瞬时中断引起的。因此，电压骤降已成为国际上电能质量研究的首要问题。国际电工委员会 IEC 已着手制定电压骤降的技术标准。

反映电压骤降发生频度的主要量化指标是 SARFI(x)。对于一个系统中选定的供电点来说，SARFI(x) 是指一年中发生的电压真有效值（RMS 值）在 X% 以下的电压骤降的次数。

美国、欧洲以及南非正在进行电力系统电压骤降量化评估项目。

解决电压骤降问题，需要了解用电设备对电压有效值变化敏感的特性，即什么水平的电压骤降会引起用电设备不正常运行。目前，国际上还没有统一的标准规定用电设备耐受或过渡电压骤降的能力。每一设备对电压骤降的敏感程度是不一样的，需要通过试验才能知道实际情况。

国际上一些行会组织制定了技术标准，规定了用电设备过渡电压骤降的能力。美国计算机制造商协会提出了 CBEMA 曲线，描述计算机能耐受一定幅度及持续时间的电压骤降的能力；国际半导体生产商组织制定了 SEMI F47 标准。

解决电压骤降问题，供电企业要做的工作有：① 优化输配电系统设计及运行结构，减少故障对电网用户点供电电压的影响。采用静态（电力电子）快速负荷切换开关；② 应用电力调整装置，为用户提供定制电力。用户要做的工作有：① 对用电设备及布局优化设计；② 在设备定货时向制造商明确过渡电压骤降的能力；③ 采用恒压变压器、静态负荷切换开关、电压骤降动态校正器、储能发电机组等电压骤降过渡技术及设备。

电压骤降的优化解决方案要考虑许多因素，包括期望的系统性能、电能质量变化特征（电压骤降幅度、时间等）、用电设备的敏感度、用电系统/设备的大小、环境考虑、维护要求等。

1.3 电能质量监测

解决电能质量问题，首先要对电网电能质量状况进行监测评估。

电能质量监测的作用主要有：量化评估系统电能质量性能水平，提供广泛意义上的供电可靠性报告，发现并鉴别电能质量问题，确定系统优先投资顺序，检验电力调整设备的性能以及为有关方面提供信息服务。表 1 对不同性质的电压扰动及其监测需求进行了总结。

表 1 对不同性质的电压扰动及其监测需求的总结

所关心问题 测试与控制 分析与显示

谐波水平

电压与电流

三相（对于平衡的三相负荷
可用单相代替）
波形取样
周期可设置
同步取样 FFT 能力
趋势
波形/频谱
长期电压波动 三相电压
电压真有效值（RMS）取样
周期可设置 趋势
大小与持续
时间的划分
短期电压波动、断电 三相电压
RMS 取样
定值可配置
一个周期 RMS 解决方法 大小与持续
时间的划分
低频暂态（开关） 三相电压和电流
波形取样
频率响应 5kHz
定值可配置 波形图显示
事件发生前及
恢复后的内容
高频暂态（雷电） 三相电压和电流
频率响应 1MHz
脉冲峰值和宽度的检测
定值可配置 波形图显示
扰动脉冲在工
频信号中位置

电能质量的监测方式主要有 3 种：

- （1） 单点“快照”监测方式。使用便携式仪器即时监测选定点的电压、电流变化，掌握电压偏差、谐波、闪变、电压不平衡等稳态电能质量水平；
- （2） 时间“趋势”方式。使用流动安装的电能质量监测装置，监测记录一段时间（1 星期或 1 个月）内的电能质量变化，应用后台分析软件，对监测时间段内电能质量变化进行分析统计，给出这段时间内电能质量变化规律与趋势；
- （3） 系统监测方式。在若干系统选定点安装在线监测装置，通过通信网与电能质量分析主站通信，实时监测系统电能质量状态，对系统内电能质量变化进行分析统计，给出电能质量变化的历史趋势。

电能质量的监测点，可根据情况选择为变电站、用户接入点以及有问题的负荷侧。

采用便携式仪器的流动监测方式，适合发现一些特定的电能质量问题；而系统监测方式，主要用于评价系统电能质量水平，发现设备问题以及评估安装的电力调整设备的性能。

电能质量监测是解决电能质量问题的重要环节，但这并不能代替对电能质量问题的整体评估、

监督。

1.4 电能质量管理

电能质量问题会给用户带来损失，但现行的供电规则或供电可靠性导则并没有充分地表述电能质量问题。电能质量问题的解决需要电力公司、用户及用电设备制造商的协调合作。电力体制改革，可能会造成电能质量责任的混淆。

解决电能质量问题，电力公司要做的工作包括：① 开展电能质量量化调查工作；② 培训用户了解其用电设备的性能以及可能出现的问题；③ 制定电能质量问题评估规范；④ 进行电能质量案例研究。

用户要做的工作有：① 研究分析用电设备对电能质量变化的敏感度；② 制定设备技术规范，描述设备对电能质量变化敏感度以及可能产生问题（谐波，闪变）；③ 制定电能质量调整设备设计导则；④ 制定用电设备评估规范。

设备制造商要做的工作：① 制定设备测试规范，检验电能质量变化期间用电设备性能；② 提供设备的电能质量性能改善方案。

电力监管部门与行业协会要做的工作：① 制定电能质量标准；② 制定评估规范，合理地分配电能质量责任。

2 马来西亚电网公司解决潘昂岛电能质量问题

案例

近年来，马来西亚政府重视吸引外资，发展高科技，设立了潘昂岛（PENANG ISLAND）自由工业区。区内有 INTEL、HITACHI 等跨国半导体生产商。这些半导体生产商对电能质量提出了很高的要求。

短时电压骤降或停电中断都可能引起半导体生产商的敏感电子设备误操作，传统的 N-1 可靠性原则，不满足供电质量要求。2000 年，发生了多次影响用户设备正常运行的电压骤降事故。马来西亚电网公司（TNB）成立了专门班子解决潘昂岛电能质量问题。具体工作步骤如下：

(1) 安装电能质量仪器，监测记录用户供电系统电压质量。记录数据表明，故障引起的电压有效值瞬时下降，是造成设备不正常运行的主要原因；

(2) 通过计算机仿真，对潘昂岛电网电压骤降性能进行评估。找出了造成潘昂岛电压骤降超标的电网故障区域，提出了改善电网电压骤降性能的电网结线调整方案；

(3) 按照 SEMI47 标准，对用户用电设备进行测试评估，提示用户不要使用不合要求的设备；

(4) 给用户提出电能质量校正设备投资建议；

(5) 对电能质量治理方案进行经济评估。

3 新加坡电网公司电能质量管理工作

1998 年新加坡电网公司成立了电能质量管理部，有 9 名雇员。主要解决电压骤降、谐波闪变以及电压不平衡问题。

为了优化投资环境，吸引高科技投资，新加坡政府对电压骤降提出了严格的指标。据媒体报道，如果用户遭到 3 次以上的电压骤降事故，配电公司将可能被吊销电网运营许可证。

电压骤降原因有输电网、电缆故障以及用户设备故障三方面的原因。统计表明，用户设备原因约占一半。

新加坡电网公司建立了电能质量在线监测系统，包括 1 个计算机分析主站以及安装在电网及用户用电点的 80 个监测终端。通过计算机仿真分析及实时数据监测，绘出了新加坡电网电压骤降水平分布 SARFI 图。为改善电网故障引起的电压骤降性能，调整了新加坡电网接线方式，解开 230 kV 环

网、分成两部分电网运行。

新加坡电网公司还向用户推荐电压骤降校正装置，并投资开发出静态电压补偿装置 DYNACOM，最大容量 500 kVA。

4 香港中华电力公司电能质量管理工作

香港中华电力公司（CLP）于 2000 年 12 月成立了电能质量管理机构，有 10 名雇员，主要职责有电能质量事故调查、项目审核、用户培训、电能质量监测、新技术及高科技设备应用、客户咨询以及资料管理等，工作重点放在解决电压骤降与谐波问题上。

1998 年，因电网电压骤降事故造成香港地铁扶梯突然停止运行，有乘客摔伤，经新闻媒体报道后，在社会产生了不良影响。调查发现，如果单相电压突然下降至零，维持 0.1 s，将造成扶梯停运。采取改进措施，使用 UPS 给可编程逻辑控制器及对电压下降敏感的接触器供电。现在二相电压下降至零，维持 0.15 s，不会出现停运。

2000 年，有一办公楼用户反映计算机设备经常误操作，通信不正常，中性线过热并且电能损耗增加。检测结果发现，电源电流中包含 3 次及 5 次谐波。相电流中谐波含量超过 300 A，远大于设计上限值 89 A，中性线电流超过 800 A，大于上限值 760 A。加装谐波滤波器后，谐波水平下降，解决了问题。

中华电力公司在解决电能质量问题的过程中，十分重视与用户协调，争取用户的支持合作。通过用户走访、举办电能质量讲座等形式，提高用户对电力系统的了解及电能质量问题的认识，加强与用户的沟通，改善用户关系。

5 我国应当进一步重视电能质量管理工作

要认识到电压骤降与谐波都是当前突出的电压质量问题，相比而言，用户对电压骤降危险更敏感。因为：

(1) 改革开放，进入 WTO，现代化企业大量增加，人民生活提高，对电能质量敏感度不断提高；

(2) 合资、外资企业较多采用进口电器，包括低压“电磁脱扣器”类设施，可在 10 ms 左右动作，对电压骤降十分敏感。辽宁省某企业曾发生过类似停电案例；

(3) 中国电网近几年每年累计共约发生 100 000 多次短路故障。其中 220 kV 及以上电网短路 2 000 多次，产生区域全局性影响；35~110 kV 电网短路约 20 000 多次，属地区性影响；10 kV 公网约 100 000 次。如计及用户网络短路故障，可能还约增加 1 倍。估计每个用户，每年经受约数百次左右的不同程度的电压骤降冲击。目前到底用户侧感受到多少次，影响、损失多大，心中无数。

中国电网有条件、有能力解决好这个问题。需要电力部门重视组织，代价可以降低。因为：

(1) 中国继电保护工作比较有基础，利用录波系统可以作粗略分析统计，对录波器功能稍加改进，或将自动化系统、电压统计表功能加以改进，可以加强监测；

(2) 各省试验研究所有一定力量，可在监测谐波工作基础上作好调研及防范谐波和电压骤降危害的反措；

(3) 学习国际经验，与用户合作，对最敏感电器作分析、区别。提供针对性的反措指导。

当前，应抓紧作好电压骤降及谐波的重点监测和对重点用户用电器特性的调查分析工作，提出量化概念，凭数字说话。组织各方面力量协作做好重要用户的电能质量工作。有关工作及对策见表 2。

表 2 电能质量问题及其对策

问题分类 电力公司对策 用户侧对策（电力部门与用户合作）

运行环节 控制设备 规划阶段

发电设备 输配电设备

频 率

AFC 自动频率控制；EDC 经济负荷分配负荷预测足够精度 实效硬软件，充分跟踪 -
合理、足够装机 遵守用电管理

电 压 电压监视控制 AVR 控制 调相设备；SVR（配电） 足够、合理补偿 合理功率因数无功补偿

停电（可靠性） 状态监视；系统切换 备用电源 N-1 规则 足够装机；网络结构合理 不间断电源（UPS）

电压骤降 电能质量监测；雷电情况监视；合理网络运行结构 - 架空地线，电缆 针对用户特点电缆化，合理网络结构 UPS；SVG 有源滤波等（针对敏感元件）

闪 变 系统切换 - - 提出限制要求 -

谐 波 -

- - 提出限制要求 遵守谐波标准；滤波器

三相不平衡 监测、调整负荷 - 换位架线平衡负荷配线 -

消除不平衡负荷
