

电能质量技术问答（天津站）

1. 如何提高供电质量，减少能源浪费？

答：这是一个大题目，只能做扼要答复：（1）首先要提高对电能质量重要性的认识，加强管理，完善相关的规程、制度；（2）加强对电能质量各种指标的监测（完善监测仪器设备、建立监测网等）；（3）以标准为依据，及时掌握主要监测点的电能质量状况；（4）充分掌握各种电能质量指标超标造成的问题，及时分析供、用设备中异常和事故，做到诊断正确、处理及时、并有防范措施；（5）供、用电双方均应定期总结经验，采用切实有效措施，不断改善电能质量。

2. 电能质量问题的治理在国内的发展和普及情况

答：自 1978 年改革开放以来，国民经济获得快速发展，促使电网负荷结构发生质变，电能质量矛盾日显突出，在国家制定系列电能质量标准基础上，相应的治理工作也在不断开展，主要有：（1）加串适当电抗器，抑制电容器组对谐波的放大，这已成为普遍做法；（2）工业上，广泛使用高、低压无源滤波器吸收滤波（兼能提高功率因数）；（3）在低压，广泛使用晶闸管投切电容器（TSC），分级动态补偿变化的工业负荷的谐波和无功；（4）在高压，对于大型快速冲击性负荷（例如电弧炉、轧机等）用快速连续调节无功功率的静止无功补偿器（即 SVC，主要有 TCR 型）解决电压波动、谐波以及三相不平衡，同时具有提高功率因数、提高产品质量和产量，降低电耗等效益，已获广泛认可，因此在冶金企业应用已相当普遍；（5）在大型电力变电站（220kV—500kV），TCR 型 SVC 装置也已得到应用（国内有十几个站在用），在调相调压，提高电网稳定性和输电能力上都能获得良好效益；（6）变电站内电压无功控制器（VQC 装置）可以综合改善电能质量控制，在一些站中已获得一定的使用；（7）电力电子技术的发展，为电能质量治理又增添许多有发展前景的装置，例如：①有源电力滤波器（APF）在低压谐波治理上已有较多的应用（这种装置体积小，有综合补偿多次谐波的功能，且没有过载或谐振问题，国内外均有产品）；②静止同步补偿器（STATCOM）也可连续调节无功输出，具有 SVC 的所有功能且速度更快、体积小得多，是无功补偿技术发展方向，目前国内在电网上已完成 50MVA 的工程样机（运行中），在个别冶金企业中已有应用；③固态切换开关（SSTS），这种装置可以快速切换电源（10ms 以内），恢复送电，适用于对电能质量有很高要求，且有备用电源的用户。国外有产品（20kV 及以下），并已在国内个别企业中应用；目前国内有 10kV 工业样机在运行中；④动态电压恢复器（DVR），主要对电压质量有很高要求的用户，能即时补偿供电电压的异常变化，国外已有产品（20kV 及以下），国内也有 10kV 工业样机在运行中；⑤对电能质量有较高要求的一些低压小容量装置和设备，往往采用不间断电源（UPS）来提高供电可靠性。不过大容量 UPS 存在价值昂贵，储能设备维护工作量大等缺点，用得较少。

还有很多解决电能质量的装置，限于篇幅，不一一列举了。有的听众提出，“对一类负荷用户，如何保证不间断供电”，我想通过以上介绍已可以获得答案。当然，任何电能质量的措施都要根据具体条件，经仔细个案研究后才能确定。

3. 每类非线性负荷其对谐波污染影响程度具体差异情况

答：系统中产生谐波的设备即谐波源，是具有非线性特性的用电设备。当前，电力系统的谐波源，就其非线性特性而言主要有三大类：

(1) 铁磁饱和型：各种铁芯设备，如变压器、电抗器等，其铁磁饱和特性呈现非线性。

(2) 电子开关型：主要为各种交直流换流装置、双向晶闸管可控开关设备以及 PWM 变频器等电力电子设备。另外广泛使用的家用电器（电视机、电冰箱、空调等）也可归属此类。

(3) 电弧型：交流电弧炉和交流电焊机等。这些设备，即使供给它理想的正弦波电压，它取用的电流也是非正弦的，即有谐波电流存在。其谐波电流含量基本决定于它本身的特性和工作状况以及施加给它的电压，而与电力系统的参数关系不大，因而常被看作谐波恒流源。

1) 磁饱和装置 该类装置包括变压器和其他带有铁芯的电磁设备以及电机等。它们铁芯的非线性磁化特性将引起谐波。广泛使用的电力变压器是电网中一个重要谐波源，谐波含量和铁心材料、外加电压高低、铁心结构、绕组联结方式等均有关，谐波含量在很大范围内变化。据文献介绍，铁心用冷轧硅钢制的变压器励磁电流中，谐波一般含量如表 1 所列。

表 1 变压器励磁电流谐波含有率（冷轧硅钢片）

谐波电流	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}
含有率 (%)	40~50	10~25	5~10	3~6	1~3

注：以励磁电流基波作为基值。

2) 换流装置 换流装置输入电流中谐波含有率取决于多种因素：①换流装置的相数，即脉动数；②装置的控制型式，分为非相控、全控和半控型；③装置导通的延迟角（或称控制角）以及换相重叠角；④电源电压质量（如谐波含量，三相不平衡情况等）。表 2 为一台电动机变频调速装置谐波含量。表 3 为家用电视机的典型谐波含量。

表 2 电动机变频调速装置谐波电流含有率

谐波次数	3	5	7	9	11	13	15
谐波电流含有率 (%)	1~9	40~65	17~41	1~9	4~8	3~8	0~2

表 3 电视机的基波及主要谐波

谐波次数		1	3	5	7	9
谐波	(A)	0.80	0.67	0.48	0.29	0.09
电流	(%)	100	83.8	60.0	36.3	11.3

3) 电弧类装置 根据对电弧炉实测电流的分析, 电弧炉电流中主要含有 2、3、4、5、7 次谐波成分 (还有低于工频的次谐波成分, 这里暂且不列), 统计结果如表 4 所列。

表 4 电弧炉谐波电流含有率

谐波次数		2	3	4	5	7
谐波	熔化期	7.7	5.8	2.5	4.2	3.1
含有率 (%)	精炼期		2.0		2.1	

总之, 非线性设备的谐波取决于很多因素, 差异很大, 其谐波发生量需要具体分析或测试确定。

4. 请进一步介绍中国每增加 1 个 GDP, 能耗增加比发达国家多 4—6 倍的具体原因。

答: 根据 2005 年统计, 美、日、中三国人均 GDP 和人均能耗情况如表 5 所列。总体上, 我国万元 GDP 能耗是世界平均水平的 2 倍, 是发达国家的 3~5 倍 (见“电力设备”2005 年

表 5 美、日、中 GDP 能耗对比 (2005 年)

谐波次数	人均 GDP (万美元)	人均能耗 (标煤, t)	单位 GDP 能耗 (标煤, t/万美元)
美 国	4.2	12.2	2.9
日 本	3.0	6.0	2
中 国	0.1717	1.71	9.96

第 9 期)。我国能源利用效率低的原因大体上有: (1) 我国低能耗的第三产业 (服务行业) 发展滞后; 第二产业 (工业) 比重过大。第二产业中高能耗低产值的工业比例过高, 工业化发展仍以量的扩张为主, 能源消耗高、浪费大、污染重。例如我国粗钢产量已达年产 5 亿吨, 遥居世界首位。而美、日、欧洲在上世纪 70 年代发生能源危机后, 大力压缩能耗大的冶金行业, 全力发展能耗小、附加值高的产业 (如计算机、IT 产业、微电子技术等), 并大力开发绿色清洁源 (风能、太阳能、水能、核能等)。(2) 在能源结构上, 我国一次能源以煤炭为主, 占 70% 左右, 比世界平均水平高 40%, 而煤的能源利用率远低于油和天然气。(3) 我国电源结构上, 火电占绝对优势 (达 80% 左右), 这也是造成能耗大的重要原因。(4) 大量高能耗、低效率的产业 (例如小煤矿、小发电厂、各种矿石炉等) 及设备 (如供热锅炉、

电动机)的存在,急需淘汰或更新改造。目前国内主要工业产品的单位电耗比国外平均水平高出 40%左右。

当然,以上论述中均未涉及电能质量问题,我国对其关注和研究约落后先进工业国家 10~20 年,电能质量目前仍是全世界电工界面临的共同问题。据 2007 年欧盟调查,因电能质量(包括供电可靠性)问题造成欧盟每年经济损失达 1500 亿欧元。美国近年也有调研数据,认为损失达每年 2000 亿美元。这是一个十分可观的数据。试想,按我国电网规模(早在 1995 年,我国发电装机容量已跃居世界第二,仅次于美国,目前已达 7.92 亿 kW,约以每年 1 亿 kW 的速度增长,预计 2010 年将会超过美国),就按每年 1.5 万亿元(RMB)损失计,电能质量造成的损失约占全国 GDP 的 5%(我国目前每年 GDP 约 30 万亿元 RMB),可见,提高电能质量(包括供电可靠性)对我国经济发展有巨大意义。

(以上问题由中国电力科学研究院林海雪解答)