

张广明 沈卫东 曲颖 编著

UPS高可用供电系统 设计与应用

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

UPS 高可用供电系统 设计与应用

张广明 沈卫东 曲颖 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

UPS 高可用供电系统设计与应用 / 张广明, 沈卫东, 曲颖 编著;

——北京: 人民邮电出版社, 2004.1

ISBN 7-115-12015-3

I. U... II. ①张...②沈...③曲... III. 不停电电源 IV. TN86

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 124481 号

内容提要

UPS 已成为当前先进的不停电供电系统的核心设备。本书在对 UPS 产品和市场应用进行大量调查研究的基础上, 针对当前 UPS 供电系统存在的核心问题——可用性和适应性, 从系统工程学的角度论述了计算机及网络设备负载对供电质量的要求, UPS 设备应具备的功能特点, UPS 设备及供电系统设计和使用中存在的问题、技术现状与发展方向, 重点论述了系统可靠性和如何提高 UPS 供电系统的可用性。全书共分 7 章: 第 1 章论述信息网络时代对供电系统的要求, 第 2 章论述不停电供电系统核心设备——UPS, 第 3 章论述供电系统可用性科学研究与设计, 第 4 章介绍 Delta 变换技术 UPS, 第 5 章介绍集成一体化 UPS 供电系统, 第 6 章介绍 UPS 的监控与管理, 最后一章介绍 UPS 供电系统中的其他设备和接地系统。

本书结构合理, 内容实用, 有一定的指导意义, 适合于 IT 企业决策人员、UPS 供电系统设计技术人员和使用维护人员以及众多的 UPS 市场营销人员阅读, 也可供科研单位、大专院校和企业的产品研制开发技术人员参考。

UPS 高可用供电系统设计与应用

◆ 编 著 张广明 沈卫东 曲 颖

责任编辑 王建军

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京崇文区夕照寺街 14 号 A 座

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67132692

煤炭工业出版社印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 18.25

字数: 446 千字

2004 年 1 月 第 1 版

印数: 1—5 000 册

2004 年 1 月 北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12015-3/TN · 2234

定价: 33.00 元

前 言

在我国，UPS 市场已进入成熟阶段，在计算机、信息网络、银行、证券、广播电视、航空、铁路、高速公路、工业自动化控制、政府机要部门等新建和改建的供电系统中，毫无例外地都采用 UPS 做整个供电系统的核心设备。在各种规格类型的 UPS 的输出电性能指标已经基本上都能满足负载要求的情况下，UPS 用户和厂商开始意识到可用性和可适应性已经成为 UPS 应用和供电系统设计的最重要课题。目前，企业对数据存储和灾备份的需求正迅速扩大。国内一些大行业、大企业都明显地增强了安全意识，对 IT 产品的需求也随之从一味追求大而全转变为安全性、可用性 & 总投入成本等因素的综合考虑。以前，电源保护经历了由点到面的转变，以及从对硬件和数据的保护扩展到对网络可用性的保护过程。今天，我们的网络变得越来越大、越来越复杂、覆盖面越来越广、集成度越来越高，网络上传送的数据也越来越关键。如何能透明而实时地监控网络的运营状态，确保网络真正的不间断呢？这就需要 UPS 具有更强大的智能管理功能，对无处不在的数据进行可靠的保护，并通过提供智能化设计的预测性故障分析功能将不安全隐患消灭在萌芽状态，从而降低管理成本。上述变化因素迫使我们必须关注一些保护观念的转变，UPS 设备硬件的模块化、管理的高度智能化、系统的冗余配置以及系统的集成化，将成为 UPS 技术和供电系统设计的新的发展趋势。对未来 UPS 系统的定位已超出传统意义上的 UPS 的范畴，新的定位应该是“整体的电力环境基础设施的保护方案”。我们相信，当 UPS 技术和设备发展到相对成熟的阶段时，我们就不再关注 UPS 具体的某项技术的发展。对 UPS 技术的新的定位，标示着 UPS 厂商的观念和策略发生了变化，从关注产品本身到关注用户的实际应用，从 UPS 向数据中心电力支撑系统的思维模式的转变。

对“可用性”的研究是本书的重点内容之一。可用性是当前 UPS 供电系统的设计者和 UPS 厂商的研发人员以及广大用户共同关注的最重要的问题，本书从系统工程学的角度，对有关可用性问题的提出、可靠性的科学研究、可用性的物理概念及它与可靠性的关系等做了全面的分析和阐述，对 UPS 设备和各种典型的供电系统方案的可用性做了定性的分析和比较，并通过可靠性模型和相关统计数据对各种供电系统的可用性进行了数值的计算，其结果对确定 UPS 技术的发展和改进供电系统的设计具有直接的指导意义。

本书是在对 UPS 技术发展现状和应用中存在的问题做了广泛深入的调查基础上撰写的。

我们在本书第 1 章全面地介绍了当前 UPS 的技术和在应用中存在的各种问题，这些问题中有一些是非常明显、用户已经发现或者已经为之付出了代价的，有些问题则是用户尚未意识到但又确实已经存在且可能即将暴露并要为之付出代价的；有些问题是 UPS 和具体使用中的技术问题，有些则是系统设计和应用中的观念问题；有些问题直接影响着供电质量和使用效果，有些问题则与系统建设周期、投资成本和使用寿命有关；有些问题发生在 UPS 及相关设备的制造供应商方面，有些问题则纯粹是因用户使用不当所引起。我们通过分析发现，所有这些问题的产生和存在都与传统的供电系统设计观念和设计方案有关，而供电系统设计方案又是由组成这些系统的设备的功能和系统配置特性决定的，所谓“巧媳妇难做无米之炊”。也就是说，要解决供电系统设计和建设中的诸多问题，首先要在改进设备特别是 UPS 设备的功能和系统配置能力上下功夫，提高它在供电系统中应付各种变化的适应性。实际上，任何技术的进步和新事物的出现都是在不断适应市场的客观要求的结果，UPS 设备和供电系统目前所面临的是如何提高可用性，包括设备的可靠性、可维护性、可扩充性以及缩短建设周期等，以便适应不断变化的需求。当然，这种适应性还包括经济形势的变化、维护人员的操作水平的变化、组织管理模式的变化和设备运行环境的变化。

应用的需要是 UPS 产生和发展的动力，也决定着它的发展方向。从某种意义上讲，在不断提高 UPS 适应性的过程中形成的 UPS 的模块化设计和冗余配置、智能化设计和与 IT 系统无缝集成的通信管理功能、UPS 供电系统的集成化和与 IT 设备的一体化设计等新的设计理念与新技术，已经成为当前 UPS 最具代表性的发展方向。

本书内容涵盖了当今世界上最先进的 UPS 技术和设计理念，内容也更贴近市场，旨在抛砖引玉，为 UPS 研制者、生产厂商和用户之间的技术交流和探讨开一个头，进而培育 UPS 市场，促进我国 UPS 技术研究和提高应用水平的目的。

在本书的编写过程中，王其英、裘明、孙欣勇、石岩嵩、祝丽峰、谭晓阳和曾佳等提供了材料，并对相关问题提出了宝贵的意见。参加编写本书的还有郭小平和黄兴泽，他们主笔编写了第 6 章。在本书的编写过程中，得到了程小丹先生的全面指导，最后由王其英先生对全书做了总的审核和校对，在此一并表示感谢。

作者

2003 年 11 月

目 录

第 1 章 信息网络时代对供电系统的要求	1
1.1 市电供电系统的现状与存在的问题	1
1.1.1 供电电网现状与问题	1
1.1.2 供电质量问题的危害性和经济损失	5
1.1.3 电源故障与故障产生的原因	7
1.2 信息网络时代对 UPS 供电系统的要求	9
1.2.1 机房系统	11
1.2.2 交流输入冗余系统	15
1.2.3 UPS 系统	15
1.2.4 高可用 UPS 供电系统的其他问题	19
1.3 当前 UPS 供电系统设计和应用中存在的问题	19
1.3.1 UPS 技术的发展与提高应用水平同等重要	19
1.3.2 UPS 设备选用和系统配置中的存在问题	22
1.4 数据中心 UPS 供电系统设计和应用中存在的问题	27
1.4.1 第 1 类问题——生命周期成本问题	28
1.4.2 第 2 类问题——UPS 系统的可适应性及可扩展性	30
1.4.3 第 3 类问题——提高 UPS 可用性的问题	31
1.4.4 第 4 类问题——UPS 对供电系统的可管理性问题	32
1.4.5 第 5 类问题——可服务性的问题	33
第 2 章 不停电供电系统核心设备——UPS	35
2.1 UPS 设备的基本功能	35
2.2 UPS 设备应具备的电性能指标	37
2.2.1 正确科学地规定 UPS 的电性能指标	37
2.2.2 UPS 应具备哪些电性能指标	39
2.3 UPS 基本电路结构形式分类与性能特点	62
2.3.1 UPS 基本电路结构形式分类及其性能特点	63
2.3.2 不同结构形式 UPS 的主要性能比较	69
第 3 章 供电系统可用性科学研究与设计	75
3.1 衡量系统运行可靠性的指标及可靠性设计	75
3.1.1 可靠性参数及其相互的关系	76
3.1.2 系统可靠性模型	81
3.1.3 UPS 设备的可靠性设计	85
3.2 系统的可用性与状态空间方法	88

3.2.1	系统可用性（可用度） $A(t)$	88
3.2.2	可用性分析——状态空间法	89
3.2.3	系统的可用性模型	90
3.2.4	UPS 供电系统可用性模型	94
3.2.5	系统等效的 MTBF 和 MTTR 的估算	95
3.3	高可用性 UPS 供电方案的设计	98
3.3.1	UPS 主从串联热备份供电方案	99
3.3.2	直接并机对 UPS 技术性能的要求	101
3.3.3	直接冗余并机供电方案	103
3.3.4	双总线冗余供电系统	107
3.4	UPS 供电系统的可用性分析	109
3.4.1	系统中有关的环节和设备的子系统可用性数据	110
3.4.2	子系统的可用性	111
3.4.3	UPS 供电系统的可用性举例	115
3.4.4	结论	118
第 4 章	Delta 变换技术 UPS	121
4.1	传统双变换 UPS 电路技术改进中的主要问题	121
4.1.1	传统双变换 UPS 输入 AC/DC 变换器电路形式和特性	122
4.1.2	输入电流高次谐波对电网和 UPS 本身的影响	124
4.1.3	高频整流功率因数校正技术（PFC）	128
4.2	UPS 电路技术的更新与发展	129
4.2.1	采用补偿原理提高 UPS 的工作效率和输出能力	130
4.2.2	用串并联有源滤波技术消除 UPS 对电网的污染	131
4.3	Delta 变换技术在线式 UPS 的工作原理与性能特点	134
4.3.1	Delta 变换技术 UPS 的电路形式与工作过程	135
4.3.2	Delta 变换器的电压补偿工作过程	144
4.3.3	Delta 变换式 UPS 的在线工作状态和高性能输出指标	148
4.3.4	Delta 变换器是典型的输入功率因数校正电路（PFC）	151
4.3.5	Delta 变换 UPS 的功率传输过程	158
4.3.6	Delta 变换 UPS 的系统配置功能	161
第 5 章	集成一体化 UPS 供电系统	163
5.1	UPS 应用现状和构建 UPS 供电系统时存在的问题	163
5.2	对提高系统可用性技术的讨论	166
5.2.1	可用性与可靠性的区别	166
5.2.2	MTBF 和 MTTR 两参数对提高可用性 A 的作用	167
5.2.3	模块化冗余技术对提高整个 UPS 供电系统可用性的作用	171
5.2.4	本节小结	174
5.3	单机模块化冗余配置 UPS——Symmetra 电源阵列	175

5.3.1 Symmetra UPS 功能模块种类和功能	175
5.3.2 Symmetra 系统配置类型	180
5.3.3 Symmetra 阵列 UPS 的运行过程及系统可用性分析	181
5.3.4 Symmetra 电性能指标及与一般 UPS 设备的比较	186
5.4 集成化 UPS 供电系统——PowerStruXure	188
5.4.1 数据中心的供电布局方案和 PSX 基本架构	188
5.4.2 PSX UPS 电路功能结构及各项性能指标	195
5.4.3 PSX UPS 系统配置功能及可用性分析	199
5.5 ISX (又称英飞集成系统)	203
5.5.1 两个新概念——NCPI 与适应性	203
5.5.2 NCPI 的实施方案实例——APC 的英飞集成系统	205
第 6 章 UPS 的监控与管理	207
6.1 UPS 智能管理与通信的基本功能	207
6.1.1 智能监控与管理是 UPS 技术发展的必然趋势	207
6.1.2 智能监控与管理对提高 UPS 系统可用性特殊作用	208
6.1.3 UPS 智能管理与通信的基本功能	211
6.1.4 对电源管理软件和智能附件功能的具体要求	211
6.2 UPS 通信接口、软件、智能附件的类型与配置	213
6.2.1 UPS 的通信接口	213
6.2.2 UPS 软件、智能附件的类型与配置	215
6.2.3 UPS 软件和智能附件简介	218
6.3 UPS 的监控及管理方案实例	227
6.3.1 PC / 图形工作站的电源保护方案	227
6.3.2 小型企业网络的电源保护方案	227
6.3.3 中小型数据中心的电源保护方案	229
6.3.4 大中型 UPS, 企业级用户系统的电源保护全面解决方案	230
6.3.5 UPS 的远程监控管理	231
6.3.6 UPS 的集中监控管理	233
6.3.7 多台 UPS 供电系统的实时管理、集中管理及资产管理	233
第 7 章 UPS 供电系统中的其他设备和接地系统	235
7.1 蓄电池的配置和使用中应注意的问题	235
7.1.1 电池质量与使用中的常见问题	235
7.1.2 蓄电池组的实际使用容量与寿命	237
7.1.3 UPS 电源蓄电池容量的选配方法	243
7.2 柴油发电机的特性与使用中的问题	247
7.2.1 柴油发电机与 UPS 的连接及运行中存在的问题	248
7.2.2 UPS 系统与发电机组的兼容性	250
7.2.3 发电机与 UPS 的配置问题	252

7.3 隔离变压器的性能及其在 UPS 供电系统中的作用	255
7.3.1 隔离变压器在 UPS 及供电系统中的功能	255
7.3.2 在 UPS 设备中去掉工频变压器是电路技术的一种进步	258
7.3.3 只有超级屏蔽隔离变压器才有较好的抗干扰功能	260
7.3.4 隔离变压器的“启动冲击”及设计时应注意的问题	264
7.4 交流稳压器及其在 UPS 供电系统中的应用	266
7.4.1 交流稳压器设备的类型和特点	267
7.4.2 各种类型交流稳压设备性能的比较	271
7.5 UPS 供电系统对机房接地系统的要求	272
7.5.1 电气设备接地的作用及分类	273
7.5.2 交流工作接地、安全保护接地、防静电接地和防雷接地	273
7.5.3 交流工作接地的常用接法	274
7.5.4 系统接地的原则	278
参考资料	281

第 1 章 信息网络时代对供电系统的要求

实际应用中的需要不仅是产生 UPS 的原因，同时也还决定了 UPS 技术发展的方向。随着 IT 业迅猛的发展，对于 UPS 的要求也在不断地变化，这种需求的变化成为 UPS 技术进一步发展的动力。本章从目前我国电网供电系统的现状与存在的问题、信息网络时代对 UPS 供电系统的要求以及当前 UPS 供电系统设计与应用中存在的问题等 3 个方面详细论述了设计使用 UPS 供电系统的必要性，深入探讨了如何设计配置一个高可用的 UPS 供电系统、如何正确选用配置和使用 UPS、UPS 技术以及以 UPS 为核心的供电系统发展的方向等问题。最后在 1.4 节中列出了，经过长时间广泛深入调查而归纳出来的当前数据中心 UPS 供电系统存在的 5 类共 22 个问题，这些都是将来必须解决的问题。对 UPS 技术而言，这些问题带有普遍性，因而包含着 UPS 技术及 UPS 供电系统的未来发展方向。

这项调查工作是由美国 APC 公司历经两年时间完成的。它表明 UPS 厂商的观念和策略已经发生了变化，思维模式已经从关注产品本身向关注用户的实际应用转变，从 UPS 一点向数据中心电力支撑系统的转变。

1.1 市电供电系统的现状与存在的问题

UPS 及其供电系统设置在市电电网与负载设备之间，惟一的目的是改善对负载的供电质量，并在市电故障时保证负载设备的正常运行。市电电网容量的不足、输变电和配电设备的性质与质量问题、用户负载设备配置不合理、设备之间相互影响以及配电系统中各类非线性负载增加、电力电子变流装置广泛应用等因素，都会使配电系统终端的供电质量不断恶化。如市电电压升高或降低，闪变浪涌及尖峰脉冲干扰等，都可使某些对供电质量敏感的重要负载设备的性能降低、寿命缩短，甚至造成重大的经济损失。若要正确、合理地配置 UPS 供电系统，首先要了解供电环境，了解各种供电质量问题产生的原因，并结合负载的特性和实际需要，才能设计、配置出合理、适用、经济的 UPS 供电系统来，使之达到改善供电质量、保证不停电供电和节省投资、运行经济的最佳效果。

1.1.1 供电电网现状与问题

市电即指公共电网。在同一个区域性电网上，连接着成千上万个各种各样不同性质的负载，其中一些大容量感性、容性、冲击性、高频变换性的负载，不仅从电网获取电能，还会反过来对电网造成污染，恶化局部乃至整个电网的供电质量，造成电网电压的幅度变化、波形畸变、频率漂移或高频干扰等。另外，意外的自然或人为事故，如地震、雷击、输变电系统断路或短路等，都会危害电力的正常供应，从而影响负载设备的正常运行。

影响供电质量的一个重要原因是一个国家或一个地区的发电机总装机容量和配电水平。

供电网络结构和配电设备以及维护管理自动化水平落后,是供电质量差、可靠性低的重要原因。供电网络结构落后和供电线路损耗大,必然会加大电网终端用电设备的相互影响,加重电网中电压起伏、浪涌、尖峰干扰等现象,增加电网电压净化的难度,再加上电力部门对用电设备负载的合理分配、负载功率因数、负载电流谐波、设备启、停对电网的干扰、安全用电等尚缺乏严格的法律法规,或者虽然有相应的规定但实施力度不够,这些都使得电网终端供电质量进一步降低。

近几年来,我国加大了对电网改造工程的投资,大力进行城市电网和农村电网的改造,发电机组总容量和发电量在 1999 年就已达到了 2.988 亿千瓦和 12331 亿千瓦时,居世界第二位,预计到 2010 年,全国发电机装机容量将达到 5 亿千瓦。但是在供电设施和供电质量方面与国际先进水平相比,以及同我国国民经济以及社会发展的需要相比,还存在很大差距。我国人均装机量和发电量都还不到世界水平的一半。特别是我国中、低压配电网的改造工程不配套,出现“卡脖子”的现象,再加上用电不规范,用电法规贯彻实施不力,使我国城市局部电网的质量不能满足使用要求,配电质量与国际水平相比仍有较大的差距,详见表 1-1。

表 1-1 供电质量的问题与比较

配电网运行、管理	国内现状	国际先进水平
供电可靠率 (RS-1)	99.897% (1999 年), 电力部要求 99.96%	东京 20min, 法国 94min, 美国 58min, 纽约 10min, 荷兰 10min, 香港、新加坡 20min
用户平均年停电时间	9.77h	
配电线路	架空线为主, 少量电缆 (北京、上海、广州稍多) 存在大量低压配电线路	城市主要用电线, 低压线路短, 或局限在建筑物内
网络结构	简单辐射式, 少数双回线, 缺少规划	主干线, 自动化环网结构 (N-1), 网络式结构 (N-2)
配电设备	少油, 真空, 少量 SF6 定期维护、检测	完成“无油化”改造, 全部为真空或 SF6 免维护, 极少检修
自动化程度	手动、自动兼有, 手动操作为主	自动, 远动, 可实现自动故障识别, 隔离, 网络重构
故障停电时间	几个小时	<1min
维护、管理	维护计划执行	AM/FM/GIS 技术
线路损耗	8.6%	5%~6%

从表 1-1 中可以看出,即使我国发电机总装机容量能满足用电量的要求,也很难保证用电终端的供电质量。

我们对 2000 年全国 286 个供电企业的 10kV 用户供电可靠性进行了分析 (此报告数据统计范围为市中心十市区十乡镇,不包括农村),总用户数 568 960 户,架空线路 162 626km,电缆线路 31 449km,配电变压器 689 303 台,配电变压器 217403MVA,平均供电可靠率 (RS-1) 为 99.889%,用户年平均停电时间为 9.767h,扣除系统电源不足限电的平均供电可靠率 (RS-3) 为 99.893%。

RS-1 是计入所有对用户的停电后得出的,真实地反映了电力系统对用户的供电能力;RS-3 是扣除限电因素后的供电可靠率,直接反映了目前我国城市电网的现状和供电部门的综合管理水平。有关电网供电可靠率 RS-1 和 RS-3 的变化情况如图 1-1 所示。

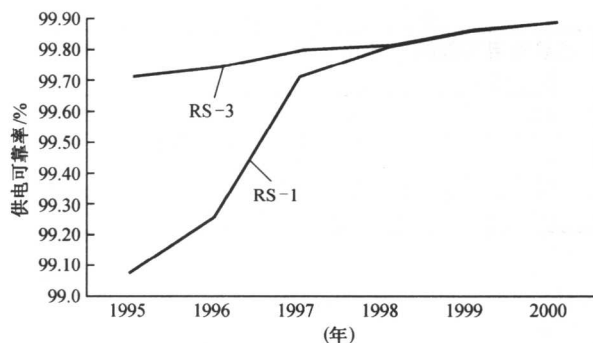


图 1-1 1995~2000 年电力供电可靠率变化情况

在图 1-1 中，RS-1 与 RS-3 的差距是由于系统电源不足限电的影响。可以看出，1996 年以前，限电对供电可靠率的影响是很大的，60%以上的停电是因为发电能力不足而造成的限电；而1997 年以后，每年装机量都在 1 000 万千瓦以上，但同期的电力需求增长缓慢，所以电力紧张的状况大大缓解；到 2000 年，限电对供电可靠率的影响已下降到不足 4%。从图 1-1 可以清楚地看出，RS-1 近几年持续大幅度提高，这与电力紧张情况得到缓解有很大关系。

1995~2000 年停电时间的比较如图 1-2 所示。

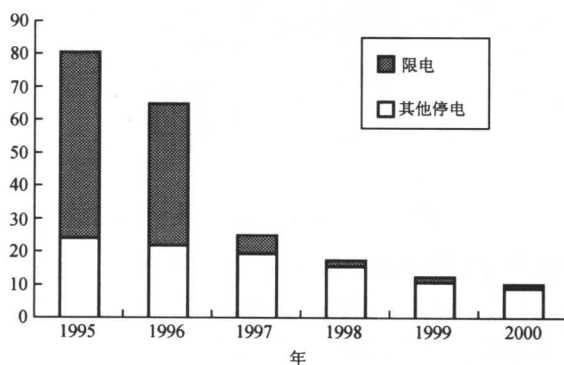


图 1-2 1995~2000 年电力停电时间的比较

从统计数字来看，供电可靠率最高的省（区、市）供电可靠率为 99.975%，用户年平均停电时间为 2.17h；最低的供电可靠率为 99.541%，用户年平均停电时间为 40.321h。

2001 年是国家电力公司的优质服务年，在对外做出的 8 项承诺中，供电可靠性指标承诺达到 99.89%，相当于用户的年平均停电时间不超过 9.5h。

供电可靠率在各数值区间的供电企业的数量占总数（286 个）的百分比如图 1-3 所示。

从图 1-3 中可以看出：占总数 44%的供电企业供电可靠率已达到“3 个 9”（RS-1 达到 99.900%），87%以上的供电企业供电可靠率已达到 99.700%，只有占总数 6%的供电企业供电可靠率仍低于 99.600%。有 129 个供电企业的年平均停电时间<9.5h，已达到优质服务承诺的标准，占全部供电企业总数的 45%。

2000 年供电系统停电统计见表 1-2。

表 1-2 2000 年各类停电简况统计

停电原因		占总停电次数的百分比 (%)	影响户数(户)	停电时户数(h·户)	占总停电时户数的百分比 (%)
故障停电		32.57	481 578	1 295 319.44	23.63
预安排停电	限电	2.13	76 819	199 616.45	3.64
	非限电	65.30	830 925	3 987 363.05	72.73
各类停电合计		100.00	1 389 322	5 482 298.94	100.00

故障停电 47 940 次

限 电 3 132 次

非 限 电 96 115 次

总 计 147 187 次

从总体上看，限电对供电可靠率的影响已降至历史最低点，为 3.64%（1999 年为 3.91%，1998 年为 7.47%，1997 年为 30.10%，1996 年为 65.66%）。

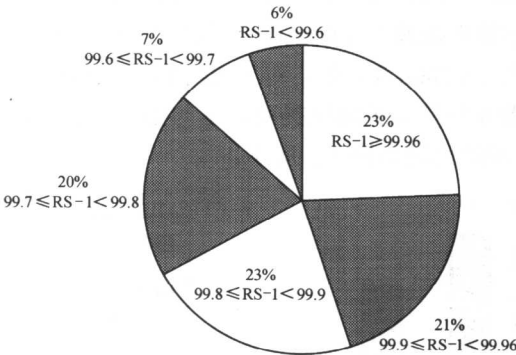


图 1-3 286 个供电企业供电可靠率的分布情况

表 1-3 和表 1-4 分别为故障停电时间分布和预安排停电（非限电类）的对比。有很多地区已没有限电，如东北、上海、天津、重庆、山东、江苏、安徽、陕西、宁夏和河南。在 286 个供电企业中，有 232 个供电企业在 2000 年没有限电，占全部供电企业的 81%。

预安排停电（非限电类）的原因主要有以下 3 个方面：

- 施工，其中大部分为城网改造，同时也包括市政建设和供电企业内部其他改造施工；
- 10kV 电压等级以上输电线路及各级变电站内部设备计划检修、清扫或预试（简称输变电检修）；
- 10kV 配电线路及设施计划检修、清扫或预试（简称配电检修）。

表 1-3 故障停电时间分布

故障停电时间 X 的范围 (h)	故障停电次数 (次)	占总故障停电次数百分比 (%)
$X \leq 0.5$	13 198	27.53
$0.5 < X \leq 1$	8 964	18.70
$1 < X \leq 2$	9 706	20.25
$2 < X \leq 3$	5 094	10.63
$3 < X \leq 4$	2 658	5.54
$4 < X \leq 9.5$	5 831	12.16
$X > 9.5$	2 489	5.19
合计	47 940	100

表 1-4 1997~2000 年预安排停电（非限电类）对比

年 份（年）	1997	1998	1999	2000
停电次数（次）	84 122	115 730	104 373	96 115
停电时户数（h·户）	6 521 011	5 669 793.38	4 521 306	3 987 363

1.1.2 供电质量问题的危害性和经济损失

电源质量是指供电设备的进线电源与正常稳定的 50Hz 正弦波电源之间在电压、电流、频率以及波形上的偏差频繁度和严重的程度。

不良电源质量是指导致设备误操作或缩短设备使用寿命的电源性能指标与正常情况相比的偏差。

电力这种产品有其特殊性，电力在发电厂被送出之前是无法评估其质量的，因为它在生产的同时就被利用。电源自发电厂经多台变压器及数 km 甚至上百 km 的传输线路，同时混合别的发电机的电能进入到千家万户。在国外，测量供电的质量主要是靠追忆的，质量测定也只能是近似的最低平均值。

在我国，电源质量问题正逐步被重视，像电压骤降、瞬变及谐波污染等类型不良电源质量问题，虽然没有正式统计过，经济损失也无法估测，但是随着电力资源日渐饱和，各种统计数据计算模型、经济损失计算模型将会逐步建立。

一些发达国家已建立起初步的统计调查数据模型。如在英国的商业和工业方面，已建立起用户评价机制，这个评价侧重于由谐波电流、对地泄露电流和电压扰动（来自电源的扰动）所造成的停机问题的统计调查。它将发生的频率分为高、中、低 3 个层次，其中：

- 高：指一年造成的停机偶发事件在 12 次以上；
- 中：指一年造成的停机偶发事件在 1~12 次；
- 低：指一年造成的停机偶发事件在 1 次以下。

调查统计结果（1997 年统计）见表 1-5。

表 1-5 偶发事件造成停机发生的频率（%）

发生的频率	谐波（%）			对地泄漏电流（%）			电压扰动（%）		
	高	中	低	高	中	低	高	中	低
商业	71	20	9	20	31	49	51	27	22
公共事业	60	20	20	31	31	38	31	49	20
工业	60	31	9	40	31	29	40	31	29

由表 1-5 数据分析表明：

- ① 谐波造成的偶发事件很高，在所有的 3 个方面中，每年偶发事件的报告在 12 次以上的均在 60%以上，而每年至少一次偶发事件的报告占 80%以上；
- ② 对地泄漏电流造成的偶发事件的报告较少，每年有 12 次以上的调查报告刚超过 20%，而每年至少 1 次偶发事件的调查报告超过 50%；
- ③ 电压扰动造成的偶发事件较少，每年有 12 次以上的调查报告刚超过 30%，而至少 1 次的调查报告超过 70%。

根据以上分析，每年至少一次偶发事件的调查报告的情况整理见表 1-6。

表 1-6 每年至少一次偶发事件发生的频率 (%)

方面	谐波 (%)	对地泄漏电流 (%)	电压扰动 (%)
商业	91	51	78
公共事业	80	62	80
工业	91	71	71
平均	87	61	76

产生谐波、对地泄漏电流、电压扰动等供电质量问题的原因是多方面的, 根据有关的调查资料, 并根据表 1-5、1-6 的数据, 可得出产生这 3 种供电质量的主要用电设备和用电场合, 见表 1-7。

表 1-7 供电质量问题产生的原因及其对各方面的影响

问题	原因	商业的 (%)	公共事业的 (%)	工业的 (%)
谐波	计算机系统	71	78	34
	感性负荷	5	—	22
	开关模式电源	10	17	22
	综合因素	14	5	22
对地泄漏电流	计算机系统	100	100	41
	过程控制设备	—	—	59
电压扰动 瞬变 骤降 脉动	雷电	—	—	—
	感性负荷切换	12	31	43
	来自公用事业设备	88	69	57
	重负荷节换	—	20	40
	来自公用事业设备	100	80	30

因电源质量问题造成的电源事故, 其损失是不可低估的。

在工业生产过程中, 电源事件可使生产停顿, 在连续的生产过程中, 它可造成已投入的原材料报废及浪费, 同时也给未处理完的废品残品的排除和处理造成很大困难。如果产品有市场期限的话, 其经济损失是可想而知的。例如像一份日报, 如果延误了出版日期, 它所刊登的新闻就将不再是“新闻”而变成历史了, 无疑, 这样的报纸也就很难卖出去了。

在现代化的医院中, 抢救监护病人主要依靠电子监测仪器, 而电源或设备的事故会造成生命的危险。

在商业及金融业, 数据处理的活动非常重要和敏感, 尤其是诸如股票交易及金融交易的过程必须实时加以处理, 而电源质量事故会使数据丢失, 造成金融秩序陷入混乱状况, 其后果是无法估量的。

因电源质量问题造成的电源事故而导致的经济损失, 其统计及量化是非常复杂繁琐的。目前国内外均没有系统、全面、有效地进行这方面的统计, 例如在英国, 其 MACE (管理会计工作的计算机教育机构) 仅在商业系统对因计算机系统的事故造成的年度损失进行了统计及估计, 见表 1-8。

表 1-8 英国 MACE 对商业系统因计算机系统事故造成的年度损失的统计及估计

年度 (年)	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
年度损失 (10 ⁹ 英镑)	3.87	3.09	2.73	2.83	2.90	2.91	2.94

MACE 的统计表明, 上述年度损失中约 28% 是由电力事故造成的。如 1995 年度的 2.94

$\times 10^9$ 英磅的损失中, 大约有 800×10^6 英磅是因电力事故造成的。美国 Neceda 国家电力公司对 112 个不同地点用电情况进行分析研究, 发现平均每个地点有 10^6 次事故。因电源质量问题给美国商业、金融业造成的损失约 150~300 亿美元。

电源质量问题已成为全球普遍关注的问题, 值得我们认真研究。计算机类的负载是对电源质量最敏感的设备, 计算机系统和网络通信设备常出现令人费解的问题, 不管是整体损坏、数据丢失, 还是整个系统瘫痪, 有一半以上要归咎于电源故障。

调查数据表明, 计算机系统中 45.3% 的数据丢失要归罪于电源事故的发生, 其频次 15 倍于电脑病毒, 是事故发生的最主要的原因。表 1-9 显示了数据丢失的原因。

表 1-9 数据丢失的原因

电源故障	暴风雪	火灾	硬件/软件故障	水灾和水患	地震	网络运转中止	人为故障	HVAC 故障	其他
45.3%	9.4%	8.2%	8.2%	6.7%	5.5%	4.5%	3.2%	2.3%	6.7%

(资料来源: Contingency Planning)

1.1.3 电源故障与故障产生的原因

什么是电源故障呢? 从电源用户的角度来看, 是否可以笼统地讲, 凡是由于电源的原因而造成负载 (设备及至整个网络系统) 发生程序错误、数据丢失、设备故障甚至损坏的, 都应该归结为电源故障。

据有关方面的统计: 在有代表性的场所, 计算机经常遭受到来自电网和传输系统的干扰, 幅值在几十伏的, 每天以百次计。40%~50% 的计算机故障是因为电源的故障和干扰造成的。但是, 由于存在电网故障而停电的情况, 在大城市和供电条件好的地区, 应以几次/年计, 在农村、边远地区, 以及其他供电条件不好的地区, 也仅仅是以几次/月计。电源故障产生的原因是很复杂的, 根据大量负载设备运行的案例和对电网运行的监测测控, 市电电压中存在的问题典型的主要以下几种:

① 电涌 (Power surger)。指市电电压有效值高于额定值 110%, 并且持续时间为一个至数个周期的现象。电涌主要是由于在同一电网上大型电气设备关机时, 电网因突然卸载而产生的高压冲击。电脑以及类似的敏感电器设备可接受的电压值都有一定的范围, 任何超出其设计范围的峰值或有效值电压都会给元器件的安全带来危害, 影响整机的可靠性和寿命。

② 高压尖脉冲 (High voltage spikes)。指峰值达上千伏, 持续时间从 0.1 毫秒至几毫秒的脉冲电压。这主要是由于雷击残压、电弧放电、改善功率因数的电容器切换、感性负载的切换、静态放电或大型电气设备开关操作而产生的, 此峰值电压能通过交流电线、网络串行线、电话线等进入电器设备, 破坏或完全损坏设备。

③ 瞬态高压干扰 (Switching transients)。指峰值达上万伏、持续时间从 $1\mu\text{s}$ 至几十 μs 的脉冲电压。其产生原因和可能造成的破坏类似于高压尖脉冲, 只是传输途径和解决方法有所不同。

④ 电压下陷 (Power sags)。指市电电压有效值介于额定值 80%~85% 的低压状态, 并且持续时间为一个至数个周期情况, 大型设备 (包括电动机、压缩机、升降机等) 开机, 或大

型电力变压器接入都可能造成电压下陷。

⑤ 电线噪声 (Electrical line noise)。指射频干扰 (RFI) 和电磁干扰 (EMI) 以及其他各种高频干扰。电动机的运行、继电器的动作、电动机控制器的工作、广播发射、微波辐射、以及雷电等, 都会引起电线噪声干扰。电线噪声干扰会破坏精密电子设备的正常运行, 对操作程序和运行数据起到破坏作用。

⑥ 频率偏移 (Frequency variation)。指市电频率的变化超过 3Hz, 通常市电的频率还是比较稳定的, 变化范围在 0.5Hz 以内, 这里所谓的频率偏移主要指应急发电机的不稳定运行, 或电压频率特性不好的专用电源供电设备所致。

⑦ 闪变。指供电电压有周期性摆动。它是由于循环换流传动系统周期性变化的负荷所造成的, 此时应有照明系统产生闪烁的视觉现象。

⑧ 电压不平衡。指三相电源各相的电压不对称。它是由于三相负荷不平衡所致。它会使变压器内部产生环流或过热, 并使三相电机的效益降低, 对单相负载设备造成过 (欠) 电压。

⑨ 谐波畸变。指电压波形畸变, 主要是由非线性的负荷所造成的。例如输入端有整流环节的大型供电设备, 如 UPS、稳压器、逆变器、变频器、电子镇流器、微波炉和医疗设备等。其结果是变压器由于涡流及磁滞损失过大而过热, 电机过热及转矩下降, 对电压频率敏感的设备工作不稳定甚至产生振荡, 以及系统中中性导线和改善功率因数的 (无源滤波) 电容器过热等。随着产生谐波的设备日益剧增, 其危害也越来越大。

⑩ 暂态停电。指 1min 以内的完全停电。它是在暂态后由自动重新合闸装置的再接通电源所造成的, 其后果是计算机和通信设备将会关机并丢失数据, 重新恢复需要数分钟的时间, 数据恢复时间则需更长。

⑪ 持续欠电压或过电压。指市电电压长时间低于或高于额定的电压数值, 它产生的直接原因是变压器的抽头分接开关故障、负载总负荷超过电网的容量并且波动、大型设备频繁启动和运行、主电力线切换等。持续欠电压与过电压属于最常见的电源故障。欠电压会导致设备工作不正常, 如计算机系统运行故障、机电设备吸引线圈释放和鼠笼电动机过热; 过电压则使多种电气电子设备永久损坏。

⑫ 市电中断 (Power fail)。指市电长时间完全中断, 它是由于发电机或配电系统事故、输电线路故障或系统过负荷等原因所致。当然, 环境的自然现象诸如暴雨雷电天气、电线结冰、汽车交通事故、土建破坏输电线、地震、电力限量供应等, 也都可能引起市电中断。

以上各种电源故障现象产生的原因是很复杂的, 有发电设备的原因, 有电力传输不良的原因, 有自然环境的原因, 也有负载的原因。各种现象也不是孤立出现的, 由于某种故障原因影响供电质量时, 往往是几种现象同时伴生出现。

对计算机类型的负载, 由于设备特点和供电系统设计不当也会形成其他不良的电源质量问题, 主要有以下两个方面。

① 接地和泄漏电流。电气系统接地的主要目的是在系统发生故障 (接地短路) 时, 保护接近系统的人员安全和防止系统本身损坏, 通过接地线给故障电源提供一个低阻抗的通路, 使电源的保护装置快速动作以切除故障电源。另外, 接地系统提供给雷电流一个低阻抗通道, 使之能安全地流入大地而不造成危害。

大量现代电子设备均使用开关模式电源装置, 它从供电电源中吸收的是脉冲电流而不是连续的正弦波电流, 此电流中含有高次谐波。为了防止高次谐波窜回供电电源中, 一般在每