

云机房供配电系统

规划 设计与运维

王其英 编著



- 银行、证券等机构的数据中心
- 交通电力、通信机房
- 工业自动化行业
- IDC 中心、计算机系统
- 高精度设备



优质产品 电力保障



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

云机房供配电系统

规划 设计与运维

王其英 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书在讲解 UPS 基本知识、基本原理、基本电路的基础上,重点对机房供电系统的认识误区进行了逐一讨论,并给出了对于规划、设计和选型正确认识和理解。书中明确了高频机和模块化 UPS 供电系统是今后数据中心电源的主流设备,它不但符合我国的国策,而且也克服了工频机 UPS 无法解决的所有缺陷。在此基础上,在本书的最后,对机房供电系统的运维、故障分析和处理进行了系统的阐述,并列出了相当数量的实例加以说明。

本书通过编者通俗易懂、深入浅出的分析,使读者不但知道怎么做,还能知道这么做的原因。本书适合从事机房供电系统规划、设计、选型及运维的技术人员学习、阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

云机房供配电系统规划、设计与运维/王其英编著. —北京:
中国电力出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5123-9043-0

I. ①云… II. ①王… III. ①机房—供电系统②机房—配
电系统 IV. ①TP308

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 046211 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 5 月第一版 2016 年 5 月北京第一次印刷

710 毫米×1000 毫米 16 开本 29.75 印张 598 千字

印数 0001—2000 册 定价 59.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



本书编委会

主 任 李民英

副 主 任 王其英

主 编 王其英

副 主 编 肖 斌

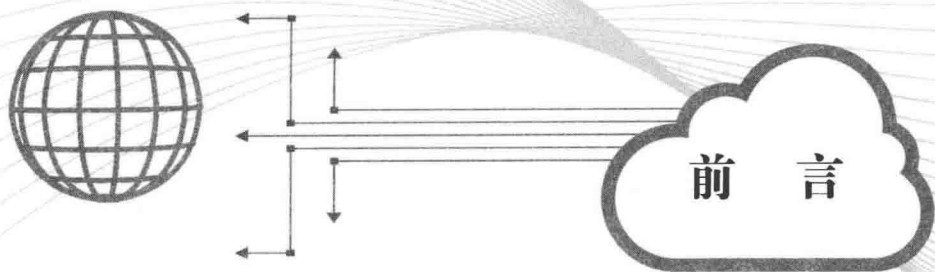
编委委员 (以拼音为序)

陈 峰 邓乃章 康向东 李民英

刘光勇 秦来林 乔约坤 王 伟

王其英 王洪涛 吴 妍 肖 斌

奚向民



在云计算和大数据时代，IT 技术得到了迅猛的发展，作为站在前沿阵地的供电系统也要与时俱进。但在这些基础设施的规划与设计中有不少地方总是不如人意，纰漏百出，造成的损失不在少数。究其原因还是一个基本概念不清的问题。大概归纳了一下，对供电系统的认识有以下十大误区。

(1) 认为 UPS 有两个功率因数——一个输入功率因数和—一个“输出功率因数”。

(2) 当“输出功率因数” < 1 时认为 UPS 输出能力还是永恒的。即不论是任何性质的负载，“输出功率因数” $= 0.8$ 时，100kVA 容量的 UPS 在任何性质的负载下都能为负载提供 80kW 的有功功率。

(3) 认为 UPS 的输入功率因数为 1 时就可以配 1:1 的前置后备发电机。

(4) 认为 UPS 的输出变压器能抗干扰，有隔离干扰作用。所以在几十年没有使用变压器的列头柜中现在竟装入了变压器，甚至还放入了第三级防雷器。

(5) 认为 UPS 的输出电压在正常供电情况下是稳频的，以致用户和供销商之间争论不休，甚至用户提出要输出电压稳频的 UPS 产品。

(6) 认为 UPS 输出的无功功率无用，使得不少地方 UPS 装机后过载现象频出，甚至无法正常运行，不得不重新购买。

(7) 认为 UPS 是带容性负载的，带感性负载是它的特点。这一颠倒黑白的认识误导不少人，直到现在好多人还蒙在鼓里而不敢带空调机之类的感性负载。

(8) 认为以往的计算机是容性负载，认为容性负载是非线性的。这种认识导致了配置负载时的错误，造成损失，更有甚者，有的“标准”也有这样的认识。

(9) 认为谐波失真可以代表功率因数，以至于在有的专门“标准”中将这一重要指标删掉，造成用户选型时的困难。

(10) 认为 UPS 输出端的零地电压干扰负载。这又是误导了一大批人的错误概念，在供电系统规划、设计和运行中造成了不少损失。甚至有的“标准”制定者还将其作为一个重要指标。现在又有了新的说法：说什么零地电压小于 1V 的指标是为了鉴别接地好不好而制定的。这又是一个误区，因为根据我国的供电制度，零线和地线在变电站就同时同一点接地，在这一点零地电压当然小于 1V，难道在几十米甚至百米之外的机房零地电压大于 1V 就是接地不好吗？关键是有些人不明白零地电压是什么，这可能是由于不懂电路所致，对这个问题本书做了重点讨论，实际上就是一层窗户纸，将其捅破就迎刃而解了。

本书对以上这些误区将逐一进行讨论，并给出正确的认识和理解，同时以实例进行详细讨

论。当然还有一个更大的误区正在逐渐纠正中，这就是高频机 UPS 和工频机 UPS 供电系统的选用上。由于习惯和惰性的关系，不少用户还在这两种供电系统中犹豫不决，这一方面来自工频机 UPS 生产厂家的宣传，另一方面也来自某些用户的“经验”和轻信。实际上高频机和模块化 UPS 供电系统无疑是今后数据中心电源的主流设备，它不但符合我国的国策，而且也是克服了工频机 UPS 所无法解决的一切缺陷。现在工频机 UPS 唯一的一个宣传阵地就是拿变压器来说事了。实际上拿变压器作为挡箭牌是软弱无力的，原因是它没有厂家所说的那些不着边际的功能，这在本书中已有详细讨论。

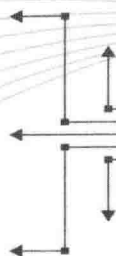
作为供电系统负载的制冷系统和照明系统本书也有涉猎。从制冷系统的基本概念到系统结构、风路类型，从风冷到水冷，从自然冷却到冷热电三联供，本书都有实例和说明。

在供电系统运行中，运维才是长期的。但在规划、设计和选型中如果概念不清就会给后来的运维工作带来很多麻烦。根据有关方面的统计，当机器出厂后有 70% 以上的故障是人为地，本书对人为故障的类型进行了说明。

为了使运维人员对故障分析有一个清楚的了解和分析，在本书中尽可能详尽地将过程说得详细一些，以便开阔读者的思路。

在编撰过程中尽管本书编委会以李民英、肖斌和陈锋等为首的专家们集思广益付出了巨大努力，尽量做到图文并茂、深入浅出，但也只能是抛砖引玉。由于水平有限，书中谬误之处仍在所难免，万望读者不吝施教，给予批评指正。

编者



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 UPS 市场状况和一般分类	1
一、UPS 的市场状况	1
二、UPS 的一般分类	3
第二节 UPS 产品的发展	5
一、UPS 的发展趋势	5
二、UPS 的电路构成	8
三、传统双变换 UPS 存在的问题和新电路的问世	10
四、UPS 的模块化结构	22
第三节 UPS 解决方案的发展概况	27
一、UPS 发展趋势	27
二、从 IT 系统面临的几个问题看对供电的要求	30
三、数据中心功能范围的一般划分	32
四、机房制冷系统概述	36
第四节 EPS 和专用 UPS 的出现	44
一、EPS	44
二、专用 UPS	45
三、磁悬浮飞轮储能及制能系统	49
第五节 数据中心供电设备的类型及特点	54
一、数据中心供电系统的演变	54
二、当代数据中心 UPS 的供电类型及工作原理	56
三、国际上市电交流电的类型	59
第六节 UPS 新技术	62
一、ECO 工作模式的新结构	62
二、多级 UPS 并机控制技术	63
三、满载和过载情况下的验机技术	67
四、空间矢量控制技术	72

▶	第二章 UPS 系统基础知识	74
▶	第一节 交流电基本知识	74
	一、概述	74
	二、基本概念术语	75
	三、无功功率的作用	80
	四、IT 设备的负载性质	82
	第二节 UPS 技术指标	86
	一、输入电压范围	86
	二、UPS 输入电压的频率范围	95
	三、输入功率因数	97
	第三节 UPS 整流器和充电器的基本电路	98
	一、单相整流器的基本电路形式	98
	二、三相整流器的基本电路形式	100
	三、高频开关整流器	105
	四、IGBT 整流器与二极管、晶闸管整流器的区别	108
	第四节 UPS 的辅助电源	110
	一、正激变换器	110
	二、反激变换器	111
	三、逆变器	112
	第五节 N+X 冗余并联式模块化 UPS 的发展与应用	128
	一、当代供电系统的需要	128
	二、可靠性与可用性	129
	第六节 Delta 变换式 UPS 产品技术	138
	第七节 高频大功率 UPS 逆变电路的重大突破	139
	一、双电源输入带来的问题	139
	二、单电源技术的推出	140
	第八节 “高压直流” UPS 的应用及其前景	141
	一、直流 UPS 的概况	141
	二、直流 UPS 使用中的“未知数”	144
	三、直流 UPS 和 IT 设备使用不当	145
▶	第三章 数据中心机房供电系统规划误区和障碍	147
▶	第一节 工频机和高频机	147
	一、概述	147
	二、高频机型结构 UPS 的优越性能	147
	三、工频机型 UPS 输出变压器只有变压和产生隔离接地点功能	153

第二节	对 Delta 变换技术的误解	162
一、	认为 Delta 变换技术是在线互动式	162
二、	认为 Delta 变换 UPS 输出的 80% 功率是市电直接提供的	164
三、	Delta 变换式 UPS 的输出电压不稳频	170
四、	关于 Delta 变换式 UPS 对电池动态的影响	172
五、	Delta UPS 输入端断电和短路时的情况	176
六、	逆变器电池组供电电源可靠性的计算	178
七、	Delta 变换式 UPS 的输出电压和输入电压相等时就相当于一根短路电缆	181
第三节	对零地电压的误解	182
一、	有关机房验收标准的规定和负面效应	182
二、	对直流零地电压的实验	182
三、	零地脉冲电压的实验	183
四、	两种实验的结果分析	185
五、	零地电压的构成	185
六、	对零地电压认识的又一误区	186
第四节	对功率因数的误解	187
一、	UPS 与后备发电机的配比问题	187
二、	认为 UPS 有两个功率因数	187
三、	当负载功率因数小于 1 时的 UPS 输出能力剖析	188
第五节	认为 UPS 的输出变压器能抗干扰	191
一、	对变压器功能的无限夸张	191
二、	变压器不合理安装带来的危害	191
第六节	UPS 输出电压稳频和无功功率无用	192
一、	认为 UPS 的输出电压在正常情况下是稳频的	192
二、	认为 UPS 输出的无功功率无用	193
第七节	对以往负载性质的误解	195
一、	认为以往的计算机是容性负载	195
二、	认为 UPS 是带容性负载的, 不能带感性负载	195
三、	认为容性负载是非线性的	196
第四章	数据中心供电系统节能减排设计	198
第一节	节能设计的第一步——选择节能的供电设备	199
第二节	在线互动电路的特点及与其他电路结构的区别	202
一、	三端口与在线互动的区别	202
二、	多抽头调节在线互动式 UPS	205

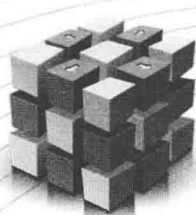
第三节	节能减排设计的第二步——规划节能的连接方式	207
一、	不合理的连接和解决办法	207
二、	不节能的配置和解决方案	208
三、	不可靠的配置和解决方案	210
四、	在满足要求的前提下简化系统	211
第四节	节能减排设计的第三步——采取节能的运行策略	212
一、	休眠式工作模式	212
二、	旁路式工作模式	213
第五节	节能减排设计的第四步——引入节能的验机技术	214
一、	为什么要验机，为什么要带载验机	214
二、	带载验机的困难	215
三、	Easy Load 无假负载验机技术	216
四、	Easy Load 负载验机方案对电网有无影响	219
第五章	UPS 配套设施的规划设计	220
第一节	现代发电机组的基本特点	220
一、	系列化发电机的功率范围	220
二、	发电机工作原理	220
第二节	现代柴油发电机组的等级划分	221
一、	发电机的性能等级	221
二、	自动化发电机组等级	221
三、	发电机的功率定额	223
四、	目前主要发电机组国标和部标	223
五、	一般柴油发电机的主要技术指标	224
六、	UPS 与柴油发电机组配套使用时的注意事项	225
七、	正确选择发电机组	226
八、	一般柴油发电机的标准配置	232
九、	并联柴油发电机组的节能运行	234
第三节	后备蓄电池	234
一、	概述	234
二、	常用铅酸电池的性能与基本参数	237
三、	正常工作中电池自然的问题	247
四、	电池容量的计算与选择	248
五、	UPS 逆变器的关机电压是怎样规定的	252
六、	电池电压和容量的测量	254
七、	关于市场上电池容量计算公式的讨论	256

第四节 电池家族的新成员	259
一、燃料电池	259
二、螺旋卷绕式铅酸蓄电池	260
三、锂离子电池	261
四、钠硫电池	263
五、液流电池	263
六、石墨烯电池	263
七、飞轮储能式电池	264
第五节 配电柜、断路器与防雷器	264
一、交流配电柜	264
二、防雷器的特性及选择	265
三、断路器的特性及选择	269
四、低压断路器的电流参数	282
五、总线断路器的选择	284
第六节 IT 机房设备的配电方式	285
一、具有漏电保护功能断路器的迷惑	285
二、UPS 前面加带漏电保护断路器的弊病	286
三、外接隔离变压器的后果	286
四、安装带漏电保护断路器的相关国家规定	287
第七节 静态开关 (STS) 的原理及应用	288
一、基本介绍	288
二、数字型静态开关 (DSTS) 的功能	292
三、静态转换开关的参数设置	294
四、STS 的分类	295
五、STS 的电路结构	299
六、STS 的工作原理	303
七、STS 的实际应用	308
八、STS 的节能应用	311
第八节 ATS 的应用	316
一、ATS 的一般介绍	316
二、ATS 转换开关的工作原理	316
三、CB 级和 PC 级 ATSE 性能比较	317
四、PC 级 ATS 的相关参数选择	317
五、ATS 动作时间选择	319

第九节	数据中心天然气三联供	319
一、	燃气三联供的原理及分类	320
二、	燃气冷热电三联供的优势	320
第十节	吸收式溴化锂制冷机	323
一、	机械制冷机	323
二、	吸收式溴化锂制冷机	323
→ 第六章	UPS 的可靠性设计	326
→ 第一节	概述	326
一、	可靠性的概念与定义	326
二、	系统可靠性设计举例	330
第二节	影响 UPS 可靠性与寿命的因素与解决方法	335
一、	外部环境因素对机器的影响	335
二、	内部因素对电子设备的影响	337
第三节	电能消耗对系统可靠性的影响	339
一、	效率与可靠性的关系	339
二、	降低制冷系统功耗的途径	340
三、	数据中心依靠冷媒的自然冷却系统	343
四、	无冷媒的自然风冷却系统	347
五、	IT 设备节能运行的前景	349
→ 第七章	数据中心的照明	350
→ 第一节	照明必须节能减排	350
一、	数据中心与照明的关系	350
二、	气体放电灯的主要品种	352
第二节	数据中心照明带来的问题	354
一、	照明灯具的选择	354
二、	照明灯具的能量损失	355
第三节	照明节能原理及电路构成	356
一、	节能原理	356
二、	电路构成	357
第四节	无级调压智能电路的构成	360
一、	无间断转换电路	360
二、	不间断电压调整原理	361
三、	NPLS 照明电源的实施电路	363
四、	照明节能电源的辅助功能	365

第五节	照明节能的经济效益和社会效益	366
一、	经济效益和社会效益	366
二、	照明节能电源与应急电源 UPS 的配合	367
第六节	数据中心的 LED 照明	367
一、	LED 照明的优点	367
二、	照明的术语	368
三、	LED 结构以及发光原理	369
四、	数据中心的 LED 应用	370
五、	现有的灯具替换成 LED 灯的缺点和优势	370
第七节	数据中心照明解决方案	372
一、	数据中心照明设计方案	372
二、	某银联商务数据中心照明解决方案	374
▶ 第八章	数据中心机房的运维管理	375
▶ 第一节	运维在数据中心的地位	375
一、	运维工程师与幼儿园教师	375
二、	数据中心运维人员的工作原则	376
三、	运维管理的一般内容	378
第二节	运维人员应具备的素质	381
一、	深厚的理论基础	381
二、	丰富的实践经验	383
三、	极强的责任心	383
四、	敏锐的前瞻意识	383
第三节	供电系统的运维	384
一、	数据中心机房供电系统的构成	384
二、	变配电室的运维要求	385
三、	发电机的维护	388
第四节	中心机房 UPS 供电系统的日常维护	390
一、	UPS 供电系统的日常巡检和保养	390
二、	制冷系统的日常维护	393
三、	机房空调常见故障及排除方法	397
第五节	机房运维用仪器仪表	401
一、	有效值数字万用表	401
二、	电能质量分析仪	402
三、	电池内阻测试仪	406
四、	粒子计数器	409

	五、红外热成像仪	412
	六、制冷剂泄漏检测仪	412
→	第九章 机房故障类型与处理措施	415
→	第一节 故障的类型及原因	415
	一、人为故障的几种表现	415
	二、机器质量故障	419
	第二节 故障分析与处理实例	421
	一、常见故障分析与处理	421
	二、“经验”导致的故障	433
	三、生产工艺监督不严导致的故障	436
	四、安装和维护上的缺欠导致的故障	440
	五、配置和安装不合理导致的故障	441
	六、不切合实际地追求高指标而导致的故障	445
	七、规章制度不严导致的故障	447
	八、市电电压浪涌导致的故障	448
	九、UPS 对 IT 设备的干扰	450
	十、输入功率因数过低导致故障	454
	第三节 配电系统故障及处理	455
	一、UPS 输出端断路器群跳闸	455
	二、断路器越级跳闸	457
	三、雷击故障	458



概 述

云中心机房基础设施的重中之重就是电力和空调，所以对于这种数据中心建设的第一步就是先要规划这两项，先要了解这方面的现实状况、存在问题和发展趋势，做到心中有数才有发言权。

第一节 UPS 市场状况和一般分类

一、UPS 的市场状况

1. UPS 市场回顾

UPS 自问世以来，一直伴随着计算机的发展而发展。由于数据中心的广泛建立，局域网、广域网和英特网的紧密连接，信息技术已成为国民经济的重要支柱，容不得任何一个环节出现纰漏。当今云计算、大数据和智慧城市等领域首先要求供电要绝对可靠，而 UPS 作为直接与 IT 设备连接的供电系统又首当其冲。

另外，我国 IT 业的发展已远高于供电设施的增加速度，尤其是季节性的停电屡见不鲜。作为不间断电源的 UPS 必须承担起市电停电期间的供电重任。

鉴于以上的原因，UPS 的销售量连年上涨。赛迪顾问的 UPS 产品消费行为调查显示，被调查的消费者中，接近五成的消费者购买意向集中在 3~10kVA 功率段，3kVA 以下的 UPS 也有 35% 左右的需求意愿。按工作方式（后备式、在线式和互动式）和售价分别统计的销售情况如图 1-1 所示。

从图 1-1 可以看出，销量最大的还是 500~1000VA 功率段，这一方面说明台式机的普及，另一方面也说明大数据中心的集中供电还有待进一步增加。当然，大数据中心是枢纽，是大动脉，用电量在 1MVA 以上者正在紧锣密鼓的建设和已经在运行，但毕竟中小型的计算机房还是多数。据不完全统计，目前数据中心机房已超过 54 万个，而 200m² 以下者占 70% 以上。尤其是中小学远程教育和农村党员远程教育工程的启动，无疑对小功率 UPS 的市场起到了促进作用。

2. UPS 市场展望

从某种意义上讲，由于 UPS 已进入同质化时期，价格已成了一个重要因素。调查结果显示，消费者购买 UPS 时受商家影响最大的促销活动为降价，比例达 45.7%，其次是打折销售，比例达 25.1%，送应用软件和有奖销售各约占 20.7% 和 8.6%。而消费者希望的购买渠道

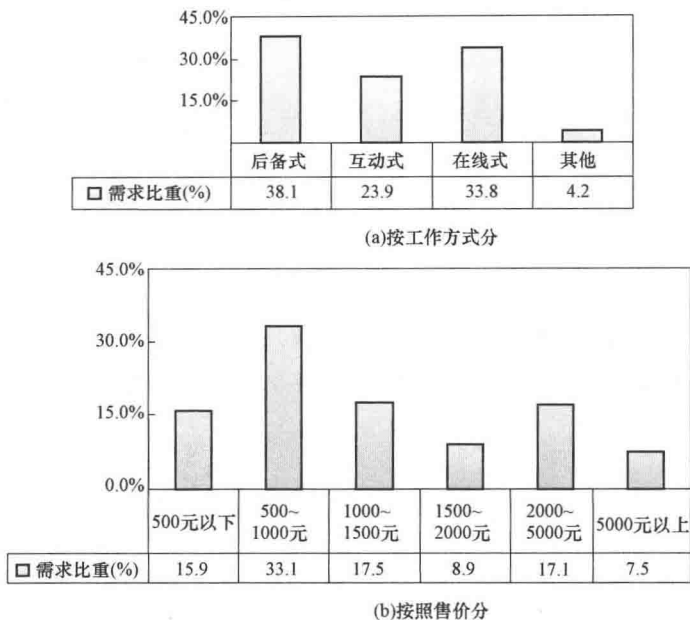


图 1-1 2004 年 UPS 市场情况调查表

依次集中于厂商、分销商和系统集成商，其中厂商的比重大，超过了 35%。

平行市场结构显示，金融、电信、政府和制造业等仍然是 UPS 应用最多的机构，但随着家用 PC 机及相应外设保有量的不断上升，家庭用户对 PC 机电要求的提高将是一个不可忽视的市场，该细分市场的 UPS 需求释放值得期待。然而由于家庭用户应用水平明显受制于用户对产品功能认识不足，对于 UPS 作用的认知仍然只停留在后备供电上，对于电流不稳、浪涌等对 PC 和外设造成的危害认识甚少，甚至存在相当数量的家庭用户不知道 UPS 的后备供电功能。再者，由于近年来，UPS 市场中、小功率产品价格战持续不断，致使低端市场的利润空间被快速挤压，从而很大程度上削弱了厂商在中、小功率产品研发和技术创新方面的资金投入，而厂商在争夺行业市场需要大量的资金投入作为支撑，利润空间的削减导致资金瓶颈，将在很大程度上限制厂商的未来发展，并且价格战直接导致一部分 UPS 产品的质量下降，返修率上升，降低了用户的满意程度和对品牌的信心。这些因素都不利于 UPS 市场乃至整个产业的可持续发展。

近些年来，UPS 用户的要求有了很大的转变，重点行业用户对 UPS 的要求朝着全套电源供应与管理解决方案迈进。UPS 厂商也在调整产品策略，推出“整体方案式”的 UPS 产品。另外，节能减排的需求也使得高频机型 UPS 由于拥有诸多优点而得到了长足的发展。2006 年，国内 UPS 销量为 26.1 亿元人民币，工频机 UPS 占去了 14.1 亿，而高频机 UPS 只占 12 亿元；但到了 2008 年国内销量达到 30.4 亿元，工频机 UPS 销量为 14.2 亿元；高频机 UPS 已经上升到 16.2 亿元，超过了工频机 UPS；到 2011 年，高频机 UPS 的销量几乎占了国内整个销量的三分之二。

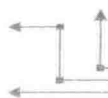


图 1-2 示出了近几年的销售图标。从图中可以看出，高频机 UPS 的销量几乎是直线上升，2014 年已达到 48 亿元，而工频机 UPS 的销量一直稳定在 14 亿元左右。

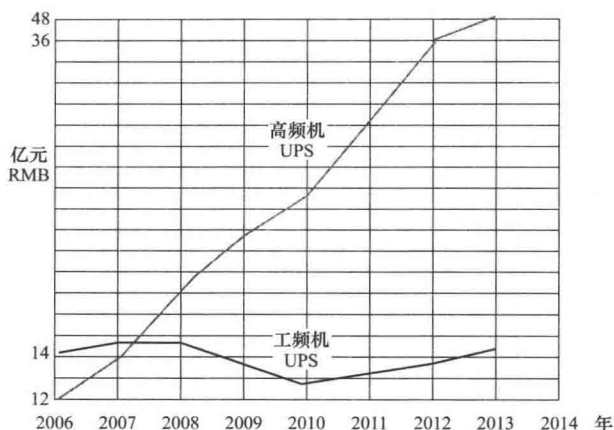


图 1-2 UPS 市场近几年的销售情况

二、UPS 的一般分类

目前只要一提及 UPS，人们就很自然地想到在线式和后备式，很少有人想到还有旋转发电机式 UPS。旋转发电机式 UPS 的单机容量和静止变换式一样，也已做到了 1000kVA 以上。这里只讨论静止变换式的产品。

1. 在线式和后备式 UPS 的区分

究竟在线式和后备式如何区分，众说纷纭，一时也无定论，实际上也不难分别。图 1-3 示出了 UPS 的基本原理方框图，从图中可以看出，任何一个 UPS 电路都存在两个变换器环节：①将交流变成直流的环节；②将直流变成交流的环节。由此就可以从两个方面来区分在线式和后备式 UPS 的概念。



图 1-3 UPS 的基本原理方框图

(1) 电路结构。具有整流器和逆变器环节的电路就是在线式 UPS，在线式 UPS 具有和额定输出功率相当的整流器和逆变器，具有充电器和逆变器环节的电路就是后备式 UPS，后备式 UPS 的充电器比额定输出功率小得多。

(2) 工作原理。在市电正常供电时，两个变换器同时工作的电路就是在线式 UPS，只有一个变换器工作的电路就是后备式 UPS。

2. 在线互动式 UPS

在一些标准上多称互动式 (Interactive) UPS，是介于在线式和后备式之间的一种产品，其电路原理图如图 1-4 所示。这种电路的原形只有一个既能充电又能逆变的双向变换器。在市