

CHENGSHI DIANWANG DIANNENG ZHILIANG
ZONGHE ZHILI

城市电网电能质量 综合治理

曹军威 胡子珩 张华赢 等 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

CHENGSHI DIANWANG DIANNENG ZHILIANG
ZONGHE ZHILI

城市电网电能质量 综合治理

曹军威 胡子珩 张华赢 刘文华
王 淼 姚森敬 朱正国 孙 杰
著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以深圳市为典型代表,分析了我国城市电网电能质量工作的现状、问题和紧迫性;研究了电能质量治理工作在机制体制、管理结构、标准规范、技术路线以及落实实施等各个层面的问题;阐明了电能质量从监测、分析到治理、评估等各个环节上的相关措施与对策。本书全面讨论了城市电网电能质量综合治理的思路和技术方案,提出了城市电网电能质量综合治理规范化、一体化、定制化、差异化解决方案,整合调研监测、高级分析、装置研制、效果评估等城市电网电能质量综合治理相关的各个环节,开发城市电网电能质量综合治理一体化平台,研制中低压电网侧和用户侧电能质量综合治理装置,并产生预期的经济效益和社会效益。

本书可供电网公司和大型工业和高科技企业从业人员使用,也可供高等院校教师 and 在校研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市电网电能质量综合治理 / 曹军威等著. —北京: 中国电力出版社, 2018.2
ISBN 978-7-5198-1316-1

I. ①城… II. ①曹… III. ①城市配电网—电能—质量管理 IV. ①TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 264781 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 陈柯羽 (010-63412509) 盛兆亮

责任校对: 李 楠

装帧设计: 王英磊 张 娟

责任印制: 藺义舟

印 刷: 三河市百盛印装有限公司

版 次: 2018 年 2 月第一版

印 次: 2018 年 2 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 13.75

字 数: 253 千字

定 价: 42.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



前言

现代社会中,电能是一种最为广泛使用的能源,其应用程度成为一个国家发展水平的主要标志之一。随着科学技术和国民经济的发展,对电能的需求量日益增加,对电能质量的要求越来越高,电力部门和用户对电能质量的关注也日益增加。

一个理想的电力系统应以恒定的频率(50Hz)和正弦波形,按规定的电压水平对用户供电。在三相交流电力系统中,各相的电压和电流应处于幅值大小相等,相位互差 120° 的对称状态。由于系统各元件(发电机、变压器、线路等)参数并不是理想线性或对称的,负荷性质各异且随机变化,加之调控手段的不完善以及运行操作、外来干扰和各种故障等原因,这种理想状态在实际当中并不存在,而由此产生了电网运行、电气设备和用电中的各种各样的问题,也就产生了电能质量的概念。

电能质量一般定义为导致用户设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率偏差。这个定义简单明晰,概括了电能质量问题的成因和后果。随着基于计算机系统的控制设备与电子装置的广泛应用,电力系统中用电负荷结构发生改变,变频装置、电弧炉炼钢、电气化铁道等非线性、冲击性负荷可能导致电能质量下降,与此同时,人们对电能质量提出越来越高的要求,电能质量已逐渐成为全社会共同关注的问题,已经成为电工领域的前沿性课题,吸引了许多高等院校、科研院所和一大批电力科技工作者投入其中进行研究。

本书通过对深圳电网电能质量监测数据进行定量分析,对重要敏感客户进行调查,提出深圳电网电能质量综合治理解决方案,对于改善深圳电网电能质量现状具有现实意义,示范工程项目的实施具有指导意义,大型城市电网的综合治理研究具有标志示范作用,进而不断提升电力企业的服务水平,产生经济和社会效益。

本书紧密结合深圳供电局有限公司近五年来的电能质量分析诊断和综合治理的实践经验,同时汇集了清华大学近年来在电能质量领域的研究成果。本书共分8章,包括电能质量概述、城市电网电能质量问题分析、城市电网电能质量综

合治理方案、城市电网电能质量动态监测、城市电网电能质量分析诊断、城市电网电能质量综合治理、城市电网电能质量治理效果评估、深圳电网电能质量综合治理案例分析。本书适合电网公司、大型工业和高科技企业从业人员、高等院校教师和在校研究生学习参考使用。

限于编者水平及编写经验，书中难免存在不妥，敬请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 10 月



目录

前言

1	电能质量概述	1
1.1	电能质量的概念	2
1.2	电能质量相关标准	2
1.3	电能质量的监测与研究	4
1.4	电能质量问题分类及改善	7
1.5	电能质量相关标准	11
2	城市电网电能质量问题分析	15
2.1	城市电网电能质量问题	16
2.2	深圳电网电能质量现状及问题	16
2.3	城市电网电能质量问题总结	21
3	城市电网电能质量综合治理方案	23
3.1	城市电网电能质量综合治理总原则	24
3.2	电网调研监测布局完善	24
3.3	电能质量数据高级分析	25
3.4	电能质量治理典型装置	26
3.5	电能质量治理效果评估	28
3.6	结论	29

4	城市电网电能质量动态监测	31
4.1	国内外电能质量监测网发展现状	32
4.2	电能质量监测网基本要求	33
4.3	城市电网电能质量监测装置与方法	35
4.4	城市电网电能质量监测系统平台	39
4.5	电能质量监测数据格式	42
4.6	数据的采集、转换与存储	46
4.7	电能质量监测展望	49
5	城市电网电能质量分析诊断	51
5.1	电能质量高级分析概述	52
5.2	基于数据挖掘的电能质量关联分析	65
5.3	基于提升小波的电能质量扰动检测分析研究	74
5.4	电能质量监测数据清洗技术研究	84
6	城市电网电能质量治理措施	93
6.1	电能质量基本治理措施	94
6.2	电能质量治理的协作管理措施	95
6.3	电能质量综合治理方案	96
6.4	不同用电对象的电能质量辅助治理决策	97
7	城市电网电能质量治理效果评估	107
7.1	城市电网电能质量评估研究现状	108
7.2	干扰源与敏感用户分类供电方案	114
7.3	从电能质量到电能体验	127
7.4	基于分类算法的电能质量状态评估	131
7.5	基于 Hadoop 的分布式电能质量评估	142

8	深圳电网电能质量治理案例分析	155
8.1	深圳电能质量问题监测现状	156
8.2	深圳电能质量问题分析与调研选点	169
8.3	深圳电网电能质量综合治理示范工程	172
8.4	深圳电网电能质量综合治理装置研制——中压电网侧 DVR	177
8.5	深圳电网电能质量综合治理装置研制——低压用户侧 UPQC	188
8.6	经济效益和社会效益分析	201
	参考文献	203

1

电能质量概述





1.1 电能质量的概念

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。国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC) IEC 61000 系列电磁兼容标准和国际电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) IEEE 1159 就现代电能质量的概念定义、指标推荐和测试方法等方面已逐渐趋于一致,IEEE 已正式采用“Power Quality”作为电能质量的术语定义。电能质量包括四个方面:

(1) 电压质量(Voltage Quality)。即用实际电压与额定电压间的偏差(偏差含电压幅值,波形和相位的偏差),反映供电企业向用户供给的电力是否合格。

(2) 电流质量(Current Quality)。即对用户取用电流提出恒定频率、正弦波形要求,这个定义有助于电网电能质量的改善,并降低网损。

(3) 供电质量(Quality of Supply)。包含技术含义和非技术含义两个方面:技术含义有电压质量和供电可靠性;非技术含义是指服务质量(Quality of Service),包括供电企业对用户投诉的反应速度和电力价格等。

(4) 用电质量(Quality of Consumption)。包括电流质量和非技术含义,如用户是否按时如数缴纳电费等,它反映供用双方相互作用与影响用电方的责任和义务。

1.2 电能质量相关标准

电能的质量标准有频率、电压以及电压的不对称性和非正弦性。

1.2.1 频率质量

频率标准和允许偏差。频率是整个电力系统统一的运行参数,一个电力系统只有一个频率。我国和世界上大多数国家电力系统的额定频率为 50Hz。大多数国家规定频率偏差在 0.1~0.3Hz。我国规定 300 万 kW 以上的电力系统的频率偏差不得超过 0.2Hz;而 300 万 kW 以下的小容量电力系统的频率偏差不得超过 0.5Hz。由于大机组的运行对电力系统频率偏差要求比较严格,因此有些国家对电力系统故障运行方式的频率偏差也作了规定,一般规定在 0.5~1Hz。超过允许的频率偏差,大机组将跳闸,不利于系统的安全稳定运行。

(1) 频率变化的原因。在电力系统内,发电机发出的功率与用电设备及送电设备消耗的功率不平衡,将引起电力系统频率变化。当系统负荷超过或低于发电



厂的出力时,系统频率就要降低或升高,发电厂出力的变化同样也将引起系统频率变化。在系统有旋转备用容量的情况下,发电厂出力能通过频率调节器较快地适应负荷的变化,因此负荷变化引起的频率偏差值较小。若没有旋转备用容量,负荷增大引起的频率下降较大。电力系统的负荷不断地变化,要随时保持发电厂的有功功率与用户有功功率的平衡,维持系统频率恒定,电力系统应具有一定的旋转备用容量,一般运行备用容量要求达到 1%~3%。

(2) 低/高频率运行的危害。电力系统低频率运行对发电厂和用户都会产生不利影响。系统低频率运行时汽轮机低压级叶片由于振动加大而产生裂纹,甚至发生断落事故;电厂中所有的交流电动机的转速相应降低,使给水泵、风机、磨煤机等辅助机械的出力相应降低,严重影响火力发电厂的出力,促使频率进一步下降,引起恶性循环,甚至可能造成全厂停电的严重事故;同时,所有用户的交流电动机的转速也要降低,工农业的产量和质量将不同程度地降低,如频率降到 49Hz 以下时,纺织品、纸张将发生毛疵和厚薄不匀的质量问题。高频率运行对系统本身和用户也将产生不利影响,如使系统电压升高对绝缘不利,增加用户和系统的损耗等。

(3) 防止系统低/高频率运行的对策。主要是提高日负荷曲线预测精度,使计划开机的发电出力与实际的负荷偏差较少;充分发挥自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)的功能,严格要求在正常运行方式下系统频率偏差不大于规定值。在故障情况,系统频率下降时,动用系统旋转备用容量,进行低频率减负荷,自动切除部分次要负荷;当频率升高时,快速减少发电机出力,甚至进行高频率切机,使系统频率尽快恢复在额定值附近。

目前,多数电力系统高峰容量不足,可能出现低频率运行。在这种情况下,可用适当的峰谷电价差,鼓励用户避开高峰用电或少用电;用电大户在实行计划用电的电网中不超指标用电。要保证系统频率质量,只有电力部门和用户共同努力才能实现。

1.2.2 电压质量

(1) 供电电压标准及允许偏差。根据 GB/T 12325—2008《电能质量供电电压偏差》规定“220V 单相供电电压偏差为标称电压的 7%~-10%; 20kV 及以下的三相供电电压偏差为标称电压的 7%; 35kV 及以上供电电压偏差绝对值之和不超过标称电压的 10%”。

(2) 电压偏离额定值的原因。电力通过变压器和线路输送将产生电压降,使受电端电压较送电端电压低一定数值,输电网空载时,受电端电压会比送电端电压高。一般情况下,离电源越近,负荷越小的用户,电压降越小;反之,电压降



越大。用户消耗的功率包括有功功率和无功功率，如果用户所需无功功率经变压器和线路送来，则会产生较大的电压降，使用户电压偏低，用户吸收的无功功率越大，则用户端的电压越低。用户的用电功率因素将直接影响用户本身的电压质量。用电设备低电压运行的危害：将使电动机的电流过大，线圈温度过高，甚至使电动机拖不动或无法启动，进而烧坏电动机；电灯发暗，日光灯启动困难；线路损耗增加；在电网枢纽变电站和受电地区的电压降低到额定电压的 70% 左右时，将可能发生电压崩溃事故，即用户消耗的无功稍有增加，线路电压降加大，使受电区电压下降，这样又进一步造成线路电压压降增加，如此循环下去，将导致甩掉大量负荷，造成大面积停电。用电设备高电压运行可使用户设备（如灯泡）寿命降低，电动机发热，损耗增加。

（3）提高电压质量的措施。提高电压质量的方法之一是，采取无功补偿措施，实现无功分级即各个电压等级、分区平衡，即每个电压等级发出的无功与消耗的无功平衡，每个地区发出的无功与消耗的无功平衡，尽可能减少无功远距离输送。做到在负荷点装设无功补偿设备。无功补偿设备可以是电容器、静止无功补偿器等。由用户装设适当的电容器，提高用户的功率因数在 0.9 以上。集中装有电容器的大用电户应注意：在小负荷时切除部分电容器，以避免电压升高和向电网输送无功功率，引起网损增加，用户最好装设跟踪无功负荷的自动投切电容器或静止无功补偿器。在负荷密集的地区变电站采用带负荷调压的变压器。

1.2.3 电压的不对称性和非正弦性

在现代的用电设备中，出现了换流设备、变频调速设备、电弧炉、电气机车、电视机等非线性负荷。它们不但会引起电压波动，而且会造成电压的不对称性和非正弦性。电压的不对称性系指三相电压间的不对称。根据对称分量法，不对称的三相电压可分解，电压的非正弦性是指电压波形的畸变。根据傅里叶变换，非正弦的电压可分解为基波（50Hz）电压和一系列高次谐波电压。总谐波电压是所有高次谐波电压的均方根值之和。我国对供电的谐波电压和电流允许值做出了规定。

1.3 电能质量的监测与研究

1.3.1 电能质量监测

对电能质量进行监测是获得电能质量信息的直接途径，虽然这方面的检测仪器已不少，但大多数只局限于持续性和稳定性指标的检测，而传统的基于有效值理论的监测技术由于时间窗太长，仅测有效值已不能精确描述实际的电能质量问



题，因此需发展满足以下要求的新监测技术：

(1) 能捕捉快速（毫秒级甚至纳米级）瞬时干扰的波形。因为许多瞬间扰动很难用个别参量（如有效值）来完整描述，同时随机性强，因此需要采用多种判据来启动量测装置，如幅值、波形畸变、幅值上升率等。需要测量各次谐波以及间谐波的幅值、相位；需要有足够高的采样速率，以便能测得相当高次谐波的信息。

(2) 建立有效的分析和自动辨识系统。随着电力的市场化和电能质量的法规化，供电质量将引起越来越广泛的重视，开发出考虑电能质量监测的新的数据采集与监视控制系统（Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA）是配电能量管理系统（EMS）的新研究方向。这一领域的难点将是对电流、电压的同时持续测量，对质量指标的分类辨识和统计，数据量大，因此需要开发强大的数据库来进行有效管理。

1.3.2 电能质量研究

针对电能质量的研究涉及指标、标准化、技术规范与措施、系统、市场等多个方面，美国支持数字化社会电力基础设施协会（CEIDS）制定了供电可靠性和电能质量研究框架，如图 1-1 所示。

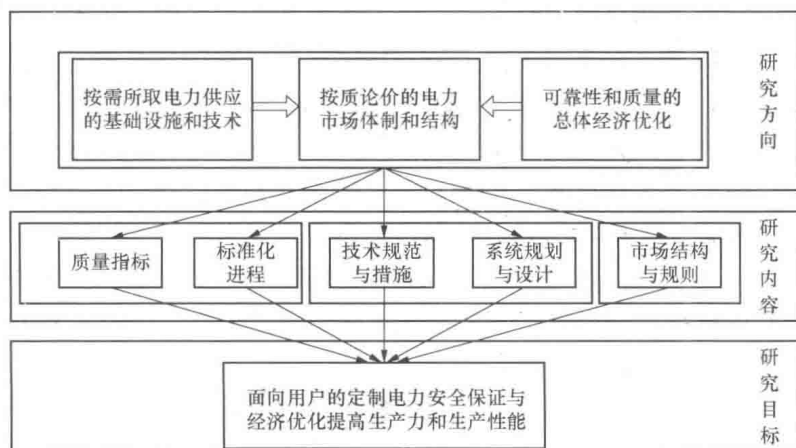


图 1-1 供电可靠性和电能质量研究框架

从经济学观点和市场角度来看，电能质量由于其自身的价值，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），以适应用户的作业活动。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，电能质量才能保证维持现有水平。

从微观来看，电能质量就是指通过公用电网供给用户端的交流电能的质量。



理想状态的公用电网应以恒定的频率、标准正弦波形和额定大小的电压对用户供电。同时,在三相交流系统中,各相电压和电流的幅值大小应相等、相位相差 120° 。但由于系统中发电机、变压器和线路等设备非线性或不对称、负荷性质多变,加之调控手段不完善及运行操作、外来干扰和各种故障等因素,这种理想状态并不存在。因此,产生了电网运行电力设备和供用电环节中的各种问题。

作用在电力用户设施和装备上的电能质量问题已经引起电工领域的极大关注,以提出特定条件下的单体设备或工厂为对象的解决方法较为普遍。建立友好型电磁环境是多方面共同努力的结果,而与施加在公用电网的电能质量问题相比还是新问题(典型的有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、电力系统的经济性与电能质量的市场化操作等),其理论和技术的支撑工作仍处于刚刚开始阶段^[1]。

改善电能质量对于电网和电气设备的安全、经济运行,保障产品质量和科学实验以及人民生活 and 生产的正常等均有重要意义。电能质量直接关系到国民经济的总体效益。因此人们对电能质量问题的重视并非近几年的事,只不过早期对此认识比较简单,主要局限在保持电网频率和电压水平(即静态或平均偏差不过大)上。

自 20 世纪 80 年代以来,电力用户对电能质量的要求越来越高,事实上已经要求供电方能够为敏感设备提供合适的电力设置和接地系统,因此,提高电能质量已经成为供用电双方的共同愿望。电力系统应向用户供应质量(电压和频率)合乎规定的电能。对于电力系统来说,电能质量扰动会降低变压器寿命、使继电保护装置误动作、增加线损,干扰电力系统的正常通信,直接影响电网的测量和计量等功能;对于用电企业来说,由于大量精密仪器和电力电子设备的使用,用户对于各种电磁干扰都极为敏感,轻微的电压暂降都有可能影响其电子控制系统的正常工作,甚至导致生产线停止、废品率增加,直接影响到企业的经济效益;对于居民用户来说,电能质量污染会降低家用电器的使用寿命、使保护熔断器经常熔断,影响居民的日常生活质量^[2]。

电能质量问题在发达国家早已引起高度重视,在美国、日本、加拿大、以色列、欧洲等国家,各类电能质量治理装置,包括 LC 滤波器、有源电力滤波器(Active Power Filter, APF)、动态电压恢复器(Dynamic Voltage Restorer, DVR)、静止同步补偿器(Static Synchronous Compensator, STATCOM)和统一电能质量调节器(Unified Power Quality Conditioner, UPQC)等均有应用,应用行业扩展到了食品加工、造纸、精密加工、半导体生产、医疗和公共配电网中等。针对电能质量问题,国际上都制定了相应的电能质量标准以保证电网安全经济运行、保护电气环境、保障电力用户正常使用^[3,4]。



1.4 电能质量问题分类及改善

1.4.1 电能质量问题分类

电能质量问题是指导致用电设备故障或不能正常工作的电压、电流或频率的偏差,为了能系统地分析和研究电能质量现象,IEEE 按照电能质量扰动现象的两个重要表现特征(变化幅值和持续时间),将电能质量问题(扰动)分为稳态和暂态两大类,如图 1-2 所示。

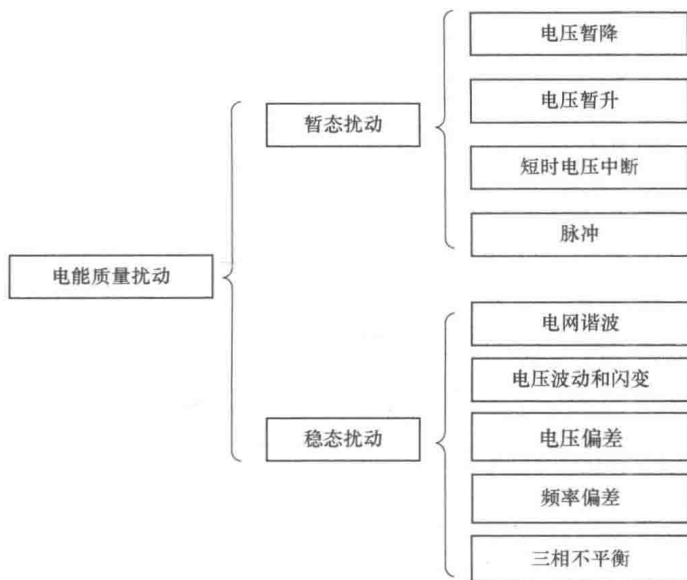


图 1-2 暂态和稳态电能质量扰动归类

稳态电能质量扰动是指电压的波形(此指曲线的形状)、幅值、频率,主要以波形畸变为典型代表,主要包括电网谐波、电压波动和闪变、电压偏差、频率偏差、三相不平衡等^[5,6]。这类电能质量问题以波形畸变为主要特征,持续时间较长。稳态电能质量指标的物理含义是在一段较长的时间内电压实际波形(包含曲线的形状、幅值、频率、相位等)与期望波形的差异程度,因此又被称为连续型电能质量问题。

暂态电能质量扰动是指电压突然发生短暂的严重偏离期望波形的情况。半导体整流器、晶闸管调压及变频调整装置、炼钢电弧炉、电气化铁路和新型家用电器等负荷迅速发展,由于其非线性、冲击性以及不平衡的用电特性,对电能质量



造成了严重的“污染”，带来了一系列新的电能质量问题，如脉冲暂态、电压暂升、电压暂降和瞬时供电中断、短时电压中断、脉冲及振荡等，因此又被称为事件型电能质量问题。与稳态电能质量问题相比，这类电能质量问题的发生更随机，持续时间更短，称之为动态电能质量问题。暂态电能质量指标的物理含义是电压、电流的波形突然发生短暂剧烈变化的严重程度。此外，从一段时间监测统计上看，暂态电能质量扰动的严重性还表现在事件的发生频次上^[7]。

在上述电能质量扰动划分的基础上，IEC 和 IEEE 都对典型的电能质量扰动进行了定义和分类。电能质量指标是电能质量各个方面的具体描述，不同的指标有不同的定义。IEC 标准，从电磁现象及相互作用和影响角度考虑给出的引起干扰的基本现象分类，如低频传导现象：谐波、间谐波、信号电压、电压波动、电压暂降与短时断电、电压不平衡、电网频率变化、低频感应电压、交流网络中的直流；静电放电（ESD）现象对于以上电力系统中的电磁现象，稳态现象可以利用幅值、频率、频谱、调制、缺口深度和面积来描述，非稳态现象可利用上升率、幅值、相位移、持续时间、频谱、频率、发生率、能量强度等描述。本书主要根据 IEEE 电能质量标准，描述了典型的电能质量单一扰动，见表 1-1。

表 1-1 IEEE 规定的电磁现象特性及分类

类 别			典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值
暂态	脉冲暂态	纳秒级	5ns 上升沿	<50ns	
		微秒级	1μs 上升沿	50μs~1ms	
		毫秒级	0.1ms 上升沿	>1ms	
	振荡暂态	低频	<5kHz	0.3~50ms	0~4（p.u.）
		中频	5~500kHz	20us	0~8（p.u.）
		高频	0.5~5MHz	5us	0~4（p.u.）
短期变化	断电			10ms~1min	<0.1（p.u.）
	电压骤降			10ms~1min	0.1~0.9（p.u.）
	电压骤升			10ms~1min	1.1~1.8（p.u.）
长期变化	持续停电			>1min	0.0（p.u.）
	欠电压			>1min	0.8 ~0.9（p.u.）
	过电压			>1min	1.1~1.2（p.u.）
电压不平衡				稳态	0.5%~2%
波形畸变	直流偏移			稳态	0~0.1%
	谐波		0~100 th	稳态	0~20%



续表

类 别		典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值
波形畸变	间谐波	0~6kHz	稳态	0~2%
	陷波		稳态	
	噪声	宽带	稳态	0~1%
电压波动		<25Hz	断续	0.1%~7%
电源频率变化			<10s	

(1) 电压暂降 (Voltage Sag)。电压暂降是指电力系统运行中, 电压信号的工频电压有效值降至 $0.1 \sim 0.9$ (p.u.), 持续时间 $10\text{ms} \sim 1\text{min}$ 内的一种电磁扰动现象, 也称作电压凹陷、电压跌落或者电压骤降。电压骤降的主要原因包括电力系统的短路故障、变压器的投运、感应电动机的启动、启动电流较大的大型负荷的接入等^{[8][9]}。

(2) 电压暂升 (Voltage Swell)。电压暂升是指电力系统运行中, 电压信号的工频电压有效值增至 $1.1 \sim 1.8$ (p.u.), 持续时间 $10\text{ms} \sim 1\text{min}$ 内的一种电磁扰动现象, 这种电磁扰动现象也可以被称为电压凸起或者电压骤升。一般来说, 电压骤升的主要原因包括中性点不接地系统发生一次单相接地短路故障以及大型负荷的切除或大容量电容器组的充电等。

(3) 电压短时中断 (Voltage Short Interruption)。电压短时中断是指电力系统运行中, 电压信号的工频电压有效值减至小于 0.1 (p.u.), 其持续时间在 $10\text{ms} \sim 1\text{min}$ 内的一种电磁扰动现象。电压中断主要包括由雷击、异物等导致的电力系统瞬时故障, 电力系统控制装置误动作和设备失效也可能导致电压中断。

(4) 脉冲暂态和振荡暂态。脉冲暂态是指电力系统运行中, 电压信号或电流信号在稳定条件下出现了突发的、非电源频率的单极性变化的一种电磁扰动现象。脉冲暂态主要由雷击产生。振荡暂态是指电力系统运行中, 电压信号或电流信号在稳定条件下出现突发的、双极性变化的一种电磁扰动现象。与脉冲暂态的区别在于扰动波形的极性, 脉冲扰动为单极性, 振荡扰动为双极性。根据其频谱成分, 振荡暂态又分为高频、中频、低频三种类型。

(5) 谐波 (Harmonic)。谐波是指电力系统运行中, 电压或电流信号含有基波的整数倍频率的正弦波成分的一种电磁扰动现象。谐波通常是由整流器等电力电子设备以及具有非线性特性的用电负荷引起的。通常使用谐波电压总畸变率 THD_u 作为谐波等级划分的指标, 谐波电压总畸变率的定义为