



全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材

电能质量 (第2版)

程浩忠 周荔丹 王丰华 编著
陈章潮 主审

清华大学出版社

全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材



电能质量 (第2版)

程浩忠 周荔丹 王丰华 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书论述了有关电能质量问题。全书共 10 章,分别论述了电能质量的基本概念、电力系统电压偏差、电力系统频率偏差、电力系统谐波、电压波动与闪变、电力系统三相不平衡、暂时过电压和瞬态过电压、电力系统间谐波、配电系统可靠性、电压跌落。只要具有电力系统分析知识的读者都能顺利阅读并理解本书的内容。本书可作为电力工程专业高年级本科生和研究生学习电能质量的教材,也可作为电气工程专业学位研究生教育的教材,还可供各级电力系统及其相关领域从事电能质量工作的工程技术人员和技术管理人员参考和作为专业培训教材。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电能质量/程浩忠,周荔丹,王丰华编著.—2 版.—北京:清华大学出版社,2017

(全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材)

ISBN 978-7-302-46957-5

I. ①电… II. ①程… ②周… ③王… III. ①电能—质量分析—研究生—教材 IV. ①TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 074131 号

责任编辑:许 龙

封面设计:何凤霞

责任校对:王淑云

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:25.25

字 数:612 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版 2017 年 8 月第 2 版

印 次:2017 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~1500

定 价:68.50 元

产品编号:069456-01

前言

智能电网的发展对电能质量及供电可靠性提出了更高的要求,信息化社会的电力供应应该具有高可靠性、高动态恒定特性、互不干扰性、控制灵活性、应用方便性等特点。它与传统电力供应的区别主要体现在:除了包括人们已经了解的稳态电压质量、谐波和电能的可靠性问题,还包括未被人们所熟知的动态电能质量问题。如何提供方便、优质的电能,使之更好地为信息化社会服务是当今电力工作者面临的新机遇和新挑战。同时,现代电力系统中,电力电子设备的应用越来越广泛,各种非线性、冲击性、波动性负载也大量增加,使电力系统所遭受的电能质量污染也日趋严重。电能质量直接关系到国民经济的总体效益,因此对电能质量进行深入研究有着非常重要的意义。为培养掌握电能质量知识的人才,国外许多著名大学的电气工程专业都开设了这方面的课程。譬如,美国 Purdue University 开设了“Power Quality”课程,The University of Texas AT Austin 开设了“Power Quality and Harmonics”课程;加拿大 University of Alberta 开设了“Advanced Power Quality”课程等,并且各自都编写了教学讲义。

本书可作为电力工程专业高年级本科生和研究生学习电能质量的教材,也可供从事电能质量工作的工程技术人员和技术管理人员作为专业培训教材或参考书。希望通过对本书的系统学习能使更多的工程技术人员掌握电能质量知识,以适应当前形势发展的需求。

为适应这一要求,程浩忠教授于1999年就为工程硕士研究生和工学硕士研究生开设了“电能质量”课程。同时我们从事电能质量研究工作30年,完成了50多项来自国家863,华东电网公司,上海市电力公司,上海市区、市东、市南供电公司等单位的有关电能质量方面的课题,在电能质量以及相关领域已发表论文200余篇。本书依托以上项目的报告和论文为背景,结合相关理论和基础工作,对在电能质量方面的教学经验和研究成果进行了提炼和总结,而编写了本书。2006年出版了第1版。2017年的第2版,在编写过程中将理论与实用方法相结合,能使读者较快地进入这一领域的前沿,对电能质量问题有一个全面的了解。由于电能质量的国内外标准存在一定差异,而且各个国家电能质量问题的侧重点不一样,发达国家的电能质量问题以电压突降为主,而我国近些年又对电能质量标准进行了修订。因此本书主要针对我国国情介绍电能质量的研究成果,同时还介绍了国外电能质量的研究成果。

本书第2版被列为“全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材”。全书由程浩忠、周荔丹、王丰华编写。其中第1~4章、第8、9章由程浩忠教授编著,第5、6章由周荔丹副研究员编著,第7、10章由王丰华副教授编著,最后由程浩忠教授统稿,由陈章潮教授审阅。本书能够完成获益于许多老师及其研究生,尤其是工程硕士在这一领域内的勤奋工作,还获益

Foreword

于陈章潮教授的不少宝贵意见。此外,国家自然科学基金会、国家科技部、国家教育部、国家电网公司、上海市科学技术委员会、上海市教育委员会、上海市教育发展基金会都为笔者相关研究工作的开展提供了相应的资助。在本书的编写过程中,管晟超、李轩、张慧丽、辛欣、王立虎、孙全才等进行了文字处理工作,在此一并向他们致以衷心的感谢。

鉴于目前国内外有关电能质量这一领域的许多问题尚在研究和探讨之中,加之作者水平有限,因此,不完善、不正确的地方在所难免,恳望读者予以批评指正。

作者

2016年9月于上海

目 录

第 1 章 电能质量的基本概念 /1

1.1 电能质量的定义	1
1.2 电能质量的主要内容	2
1.3 电能质量的分类	3
1.4 中国电能质量标准与主要内容	4
1.5 其他电能质量概念	12
1.6 动态电能质量	14
1.7 IEEE 电压容限曲线及分类	16
1.8 电能质量研究概况	18
参考文献	25

第 2 章 电力系统电压偏差 /29

2.1 电压偏差的国家标准	29
2.2 电压偏差超标的危害	31
2.3 电力系统电压调整	43
2.4 电力系统无功潮流	55
2.5 无功电压管理	71
参考文献	76

第 3 章 电力系统频率偏差 /77

3.1 电力系统频率的概念	77
3.2 频率偏差对电力系统的影响	85
3.3 电力系统频率的检测与评价	97
3.4 电力系统频率偏差的标准和规定	100
3.5 电力系统频率调整	106
参考文献	111

第4章 电力系统谐波

/113

4.1 电力系统谐波的基本概念	113
4.2 电力系统非正弦波形的分析方法	120
4.3 电力系统谐波的来源	133
4.4 电力系统谐波潮流计算	142
4.5 电力系统谐波测量技术	152
4.6 谐波对电网的影响和危害	169
4.7 电力系统谐波的抑制	180
4.8 交流滤波装置	194
4.9 谐波同电能计量	203
4.10 电力系统谐波的标准及其管理	210
参考文献	219

第5章 电压波动与闪变

/221

5.1 电压波动和闪变的基本概念	221
5.2 电压波动和闪变的标准	228
5.3 电压波动和闪变的测量	230
5.4 电压波动和闪变的产生与抑制	244
参考文献	251

第6章 电力系统三相不平衡

/253

6.1 三相不平衡的概念及计算	253
6.2 三相不平衡的标准及测量	263
6.3 三相不平衡的危害及改善措施	266
参考文献	273

第7章 暂时过电压和瞬态过电压

/274

7.1 暂时过电压和瞬态过电压的概念	274
7.2 工频过电压的机理与限制	280
7.3 谐振过电压的机理与限制	284
7.4 操作过电压的机理与限制	301
7.5 雷电过电压的保护	309
参考文献	310

第8章 电力系统间谐波

/311

8.1 电力系统间谐波的概念及相关标准	311
---------------------------	-----

8.2 间谐波的测量技术	317
8.3 间谐波的产生、危害及抑制措施	321
参考文献	326

第 9 章 配电系统可靠性 /327

9.1 配电系统可靠性	327
9.2 配电系统可靠性准则	335
9.3 我国城市电力网可靠性的规定	337
9.4 以元件组合关系为基础的配电系统可靠性预测方法	343
9.5 配电系统缺电和停电损失的计算	356
9.6 配电系统可靠性经济评价	357
9.7 提高配电系统可靠性的措施	359
9.8 提高配电系统可靠性措施实施效果的计算	364
参考文献	367

第 10 章 电压跌落 /368

10.1 电压跌落的概念	368
10.2 电压跌落的危害性	370
10.3 电压跌落的标准	382
10.4 电压跌落值的测量和计算	384
10.5 抑制电压跌落的措施	388
参考文献	393

电能质量的基本概念

1.1 电能质量的定义

电能质量是指通过公用电网供给用户端的交流电能的品质。理想状态的公用电网应以恒定的频率、正弦波形和标准电压对用户供电。在三相交流系统中,还要求各相电压和电流的幅值应大小相等、相位对称且互差 120° 。但由于系统中的发电机、变压器、输电线路和各种设备的非线性或不对称性,以及运行操作、外来干扰和各种故障等原因,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,也就产生了电能质量的概念。围绕电能质量的含义,从不同角度理解电能质量,通常包括如下几个方面。

(1) 电压质量。指实际电压与理想电压的偏差,反映供电企业向用户供应的电能是否合格。这个定义能包括大多数电能质量问题,但不包括频率造成的电能质量问题,也不包括用电设备对电网电能质量的影响和污染。

(2) 电流质量。反映了与电压质量有密切关系的电流的变化,电力用户除对交流电源有恒定频率、正弦波形的要求外,有些用户还要求电流波形与供电电压同相位以保证高功率因数运行。这个定义有助于理解电网电能质量的改善和线损的降低,但不能概括大多数因电压原因造成的电能质量问题。

(3) 供电质量。技术含义是指电压质量和供电可靠性。非技术含义是指服务质量,包括供电企业对用户投诉的反应速度以及电价组成的合理性、透明度等。

(4) 用电质量。包括电流质量,还包括反映供用电双方相互作用和影响中的用电方的权利、责任和义务,电力用户是否按期、如数缴纳电费。

国内外对电能质量确切的定义至今尚没有形成统一的共识。但大多数专家认为,电能质量的定义应理解为:导致用户电力设备不能正常工作的电压、电流或频率偏差,造成用电设备故障或误动作的任何电力问题都是电能质量问题。

IEC1000-2-2/4 标准将电能质量定义为:供电装置正常工作情况下不中断和干扰用户使用电力的物理特性。

IEEE 协调委员会对电能质量的技术定义为:合格的电能质量是指给敏感设备提供的电力和设置的接地系统均是适合该设备正常工作的。

参考文献[2]对电能质量的定义是:电能质量一般是指电压或电流的幅值、频率、波形

等参量距规定值的偏差。

不论如何表达,电能质量的概念中应包括电能供应过程中所要考虑的一切方面。

1.2 电能质量的主要内容

衡量电能质量的指标除了包括额定电压、额定频率和正弦波形外,还包括所有电压瞬变现象,如冲击脉冲、电压下跌、瞬时间断等。上述定义概括了电能质量问题的成因和后果,当然其中的偏差应作广义的理解,它还包括供电可靠性。

目前,电能质量的主要内容有以下方面。

- (1) 电力系统频率;
- (2) 供电电压允许偏差;
- (3) 电压合格率;
- (4) 三相电压不平衡度;
- (5) 电压波动和闪变;
- (6) 电压谐波;
- (7) 间谐波;
- (8) 暂时过电压和瞬态过电压;
- (9) 电压暂降和电压上升;
- (10) 断电和电压中断;
- (11) 电压瞬变;
- (12) 过电压和欠电压;
- (13) 交流电网中的直流分量;
- (14) 载波电压信号;
- (15) 电压切痕;
- (16) 稳态电压扰动;
- (17) 暂态(瞬态)电压扰动;
- (18) 动态电能质量问题等。

目前,在电能质量问题方面的主要研究内容有以下几个方面。

- (1) 研究谐波对电网电能质量污染的影响并采取相应的对策。

由于钢铁等金属熔炼企业的发展,化工行业整流设备的增加,大功率晶闸管整流装置、GTO、IGBT、IGCT 及其他电力电子器件的开发应用,造成公用电网的谐波污染日趋严重,电源的波形产生了严重的畸变,影响了电网安全可靠运行。

- (2) 研究谐波对电力计量装置的影响并采取相应的措施。

由于波形畸变,引起电力计量的准确度受到影响,导致计量误差,产生附加的功率损耗,造成不必要的经济损失。

- (3) 研究电能质量污染对高新技术企业的影晌并采取相应的技术手段。

由于计算机系统和基于微电子技术控制的自动化生产流水线,以及新兴的 IT 产业、微电子芯片制造企业等,对电能质量的要求和敏感程度比一般电力设备要高,任何暂态和瞬态

的电能质量问题都可能造成这些设备的运行异常或损坏,影响正常生产,给电力用户造成经济损失。

(4) 加强电能质量控制装置的研制。

电能质量控制装置的基本功能就是要在任何条件,甚至是极为恶劣的供电条件下改善电能质量,保证供电电压、电流的稳定、可靠,比如,在谐波干扰产生的瞬间能立即将其抑制或消除。

1.3 电能质量的分类

1.3.1 IEC 关于电磁干扰及其对电能质量影响的分类

IEC 从电磁兼容及相互干扰的角度考虑,对电磁干扰及其对电能质量的影响进行分类,如表 1-1 所示。

表 1-1 IEC 关于电磁干扰及其对电能质量的影响分类

序号	电磁干扰现象	对电能质量产生的影响因素
1	传导型低频现象	谐波、间谐波、载波干扰,电压波动,电压跌落和间断,电压不对称,工频偏差,感应低频电压,交流电网中的直流分量
2	辐射型低频现象	工频电磁场
3	传导型高频现象	感应连续波电压或电流、单方向瞬变、振荡性瞬变
4	辐射型高频现象	磁场、电场、电磁场、连续波、瞬变
5	静电放电现象	
6	核电磁脉冲	

1.3.2 IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类

IEEE 根据电压扰动的频谱特征、持续时间、幅值变化等对供电系统典型的电磁干扰现象进行了特征分类,为准确区分电压暂态现象提供了依据,如表 1-2 所示。

表 1-2 IEEE 关于电磁现象和电能质量的分类

种 类			频谱成分	持续时间	电压幅值
电 磁 瞬 态	冲击		上升沿 5ns	<50ns	—
			上升沿 1 μ s	50ns~1ms	—
			上升沿 0.1ms	>1ms	—
	振荡	低频	<5kHz	0.3~5ms	0~4(p. u.)
		中频	5~500kHz	20 μ s	0~8(p. u.)
		高频	0.5~5MHz	5 μ s	0~4(p. u.)

续表

种 类			频谱成分	持续时间	电压幅值
短 时 电 压 变 动	瞬时	中断	—	0.5~30 周波	<0.1(p. u.)
		跌落	—	0.5~30 周波	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	0.5~30 周波	1.1~1.8(p. u.)
	暂时	中断	—	30 周波~3s	<0.1(p. u.)
		跌落	—	30 周波~3s	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	30 周波~3s	1.1~1.4(p. u.)
	短时	中断	—	3s~1min	<0.1(p. u.)
		跌落	—	3s~1min	0.1~0.9(p. u.)
		升高	—	3s~1min	1.1~1.4(p. u.)
长期电压变动		持续中断	—	>1ms	0.0(p. u.)
		欠电压	—	>1ms	0.8~0.9(p. u.)
		过电压	—	>1ms	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 次	稳态	0~20%
	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	间歇	0.1%~7%
工频变化				<10s	

1.3.3 根据电能质量及电磁干扰现象特征的分类

根据电磁干扰现象的特征可分为稳态现象和非稳态现象,其属性如表 1-3 所示。

表 1-3 根据电能质量及电磁干扰现象特征的分类

特 征	属 性
稳态现象	幅值、频率、频谱、调制、电源阻抗、陷落深度、陷落面积
非稳态现象	上升率、幅值、相位移、持续时间、频率、频谱、发生率、能量强度、电源阻抗

1.4 中国电能质量标准与主要内容

电能质量标准是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电能的基本技术规范,是实施电能质量监督管理、推广电能质量控制技术、维护供用电双方合法权

益的法律依据。从20世纪六七十年代开始,世界各国几乎都制定了有关供电频率和电压允许偏差的计划指标,部分国家还制定了限制谐波、电流畸变、电压波动等的推荐导则。近十几年来,许多发达国家已经制定、颁布、实施了更加完备的电能质量系列标准。随着经济国际化,世界各国制定的电力系统电能质量标准正在与国际权威专业委员会推荐标准及相应的试验条件等一系列规定接轨,逐步实现标准的完整与统一。

1988年,我国曾颁布执行了《电网电能质量技术监督管理规定》,提出了“谁干扰,谁污染,谁治理”的原则,并指出:为保证电力系统安全、稳定、经济、优质运行,全面保障电能质量是电力企业和用户共同的责任和义务。迄今为止,我国已经制定并颁布的电能质量国家标准有:《电能质量 供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)、《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)、《电能质量 公用电网间谐波》(GB/T 24337—2009)、《电能质量 三相电压不平衡》(GB/T 15543—2008)、《电能质量 电力系统频率偏差》(GB/T 15945—2008)、《电能质量 电压波动和闪变》(GB/T 12326—2008)、《电能质量 暂时过电压和瞬态过电压》(GB/T 18481—2001)和《电能质量 电压暂降与短时中断》(GB/T 30137—2013),共8项国家标准。

1.4.1 电能质量标准化

为了保证电网安全、经济运行,保证对用户连续、可靠地供应电能,保障输配电设备、用电设备与装置正常使用,必须以科学技术和运行经验的综合成果为基础,按照标准化的原则对电气产品制定并发布统一的、适度的基本指标规定,以统一的质量检验方法指导实施。这一工作被称为电能质量标准化。开展电能质量标准化的工作主要有以下4个方面内容。

1. 规定标称环境

由于生产和运行的实际状况在不断变化,供电频率和电压不可避免地偏离理想标称值。因此,在规定电能质量指标时必须考虑,在一定时期可能的环境条件,在给定的标称值下允许某指标有一定的变化范围。例如,理想的供电系统应以恒定的工业频率(在我国标称频率为50Hz)和某一规定电压水平(如标称电压220V)向用户供应电能。实际上在给出标称频率和电压的同时,还应给出允许的偏差范围,如标称频率50Hz,允许频率偏差值为 $\pm 0.2\text{Hz}$,电压允许的典型偏差范围为90%~107%。

2. 定义技术名词

在制定电能质量标准时给出电能质量现象的准确定义和描述,应尽可能地统一专用术语。因为只有这样,电力供应方、电力使用方和设备制造方之间进行技术与信息交流时才会有通用的规范语言,而且在相互的技术要求上有了多方面兼顾的、统一规范的标准,电能质量的测量与评估结果才会有可比性。例如,对暂时中断的定义是:电压均方根值小于10%额定电压,持续时间大于30周波且小于3s的现象。

3. 量化电能质量指标

量化是制定电能质量标准工作的核心内容,涉及对电能质量问题发生原因和干扰传播机理的认识,对用电设备承受干扰能力的分析和测试,以及对抑制扰动和质量达标等技术的保证。在制定电能质量技术指标时应注意到,不是质量标准越高越好,其指标量化的目的是将电力系统整体的安全和经济与基本保证用电的可靠性联系起来,进行综合优化协调,制定出适度的和可能达到的技术指标。从上述的电能质量特殊性质已经知道,电能质量标准的量化不同于一般工业产品的质量问題,应根据其特点作出规定。例如,需考虑到以下3个方面。

(1) 保证电能质量并非供电部门单方面的责任。实际上,某些电能质量指标的下降是由电力消费者的电磁干扰造成的,全面的电能质量管理是由供用电双方共同保证的。因此,在制定电能质量标准时,除了给出保证供电电压质量的扰动限制值外,还要给出用户设备注入电力系统的电磁扰动的允许值。

(2) 对于不同的供用电点和不同的供用电时间,电能质量指标往往是不同的。由于电能质量在时间和空间上均处于动态变化之中,因此在考核电能质量指标时往往采用概率统计结果来衡量。最典型的例子是取95%概率大值作为衡量依据。

(3) 量化的电能质量标准应兼顾到电力供、用两方面的技术经济效益,因此强调电磁兼容性。

4. 推荐统一的测量与评估方法

在制定电能质量计划指标的同时,也要制定出统计指标,因此对电能质量的测量方法、仪器和评估方法给出一定的要求和规定是十分必要的。采取统一的测量与评估方法的目的在于统一技术规范,使实际检测到的电能质量数据真实可信,使电能质量的考核与检验规范化,以便做到各仪器制造厂家生产的电能质量测量仪器和评估方法科学合理,测量结果具有可比性,测试功能具有灵活性和可操作性。

虽然随着科技水平的提高和工业生产的发展,供电、用电和设备制造三方对电能质量的认知和要求在不断深化,但制定出共同遵守的、综合优化的适度指标,并根据不同生产过程和用户的不同质量要求给出不同等级的质量标准仍是一项长期的和需要不断探索的研究工作。

1.4.2 电能质量国家标准简介

1990—2015年的25年间我国陆续制定和颁布了8项电能质量国家标准,摘要如表1-4所示。

表 1-4 8 项电能质量国家标准摘要

标准编号	标准名称	允许限值	说 明
GB/T 12325 —2008	电能质量 供电电压 偏差	(1) 35kV 及以上,正负偏差绝对值之和不超 过 10% (2) 20kV 及以下三相供电,±7% (3) 220V 单相供电,+7%,−10%	衡量点为供电产权分界或电能 计量点

续表

标准编号	标准名称	允许限值	说 明																						
GB/T 12326 —2008	电能质量 电压波动 和闪变	电压变动 d 的限值和变动频度 r 有关。当 $r \leq 1000\text{h}^{-1}$ 时,对于低压(LV)和中压(MV), $d = 1.25\% \sim 4\%$;对于高压(HV), $d = 1.0\% \sim 3\%$。当随机不规则的变动时,对于 LV 和 MV, $d = 3\%$;对于 HV, $d = 2.5\%$。 闪变限值 <table><tr><th>系统电压等级</th><th>LV</th><th>MV</th><th>HV</th></tr><tr><td>短时间闪变值 P_{st}</td><td>1.0</td><td>0.9(1.0)</td><td>0.8</td></tr><tr><td>长时间闪变值 P_{lt}</td><td>0.8</td><td>0.7(0.8)</td><td>0.6</td></tr></table> 注: 括号中的值仅适用于所有用户为同电压等级场合	系统电压等级	LV	MV	HV	短时间闪变值 P_{st}	1.0	0.9(1.0)	0.8	长时间闪变值 P_{lt}	0.8	0.7(0.8)	0.6	(1) 衡量点为公共连接点(PCC) (2) P_{st} 的测量周期为 10min, 取实测 95% 概率大值; P_{lt} 的测量周期为 2h, 不得超标 (3) 限值分三级处理原则 (4) 提供预测计算方法, 规定测量仪器并给出典型分析实例										
系统电压等级	LV	MV	HV																						
短时间闪变值 P_{st}	1.0	0.9(1.0)	0.8																						
长时间闪变值 P_{lt}	0.8	0.7(0.8)	0.6																						
GB/T 14549 —1993	电能质量 公用电网 谐波	各级电网谐波电压限值 % <table><tr><th>电压/kV</th><th>THD</th><th>奇次</th><th>偶次</th></tr><tr><td>0.38</td><td>5</td><td>4.0</td><td>2.0</td></tr><tr><td>6、10</td><td>4</td><td>3.2</td><td>1.6</td></tr><tr><td>35、66</td><td>3</td><td>2.4</td><td>1.2</td></tr><tr><td>110</td><td>2</td><td>1.6</td><td>0.8</td></tr></table> 注: ① 220kV 电网参照 110kV 执行 ② THD 为总谐波畸变	电压/kV	THD	奇次	偶次	0.38	5	4.0	2.0	6、10	4	3.2	1.6	35、66	3	2.4	1.2	110	2	1.6	0.8	(1) 衡量点为 PCC, 取实测 95% 概率大值 (2) 对用户允许产生的谐波电流提供计算方法 (3) 对测量方法和测量仪器作出规定 (4) 对同次谐波随机性合成提供算法		
电压/kV	THD	奇次	偶次																						
0.38	5	4.0	2.0																						
6、10	4	3.2	1.6																						
35、66	3	2.4	1.2																						
110	2	1.6	0.8																						
GB/T 24337 —2009	电能质量 公用电网 间谐波	(1) 电力系统公共连接点(PCC)各次间谐波电压含有率限值 电力系统公共连接点(PCC)各次间谐波电压含有率限值 % <table><tr><th rowspan="2">电压等级</th><th colspan="2">频率/Hz</th></tr><tr><th><100</th><th>100~800</th></tr><tr><td>1000V 及以下</td><td>0.2</td><td>0.5</td></tr><tr><td>1000V 以上</td><td>0.16</td><td>0.4</td></tr></table> (2) 单一用户间谐波电压含有率限值 单一用户间谐波电压含有率限值 % <table><tr><th rowspan="2">电压等级</th><th colspan="2">频率/Hz</th></tr><tr><th><100</th><th>100~800</th></tr><tr><td>1000V 及以下</td><td>0.16</td><td>0.4</td></tr><tr><td>1000V 以上</td><td>0.13</td><td>0.32</td></tr></table>	电压等级	频率/Hz		<100	100~800	1000V 及以下	0.2	0.5	1000V 以上	0.16	0.4	电压等级	频率/Hz		<100	100~800	1000V 及以下	0.16	0.4	1000V 以上	0.13	0.32	频率小于 100Hz 的间谐波限值主要从抑制闪变的角度出发; 频率在 100~800Hz 的间谐波限值主要从无源滤波装置(并联电容器)的安全运行出发, 同时保护低频电力载波信号的正确传输。800Hz 以上间谐波限值尚处于研究阶段
电压等级	频率/Hz																								
	<100	100~800																							
1000V 及以下	0.2	0.5																							
1000V 以上	0.16	0.4																							
电压等级	频率/Hz																								
	<100	100~800																							
1000V 及以下	0.16	0.4																							
1000V 以上	0.13	0.32																							

续表

标准编号	标准名称	允许限值	说 明																								
GB/T 15543 —2008	电能质量 三相电压 不平衡	(1) 正常运行时,负序电压不超过 2%,短时不超过 4% (2) 每个用户一般不得超过 1.3%,短时不超过 2.6%	(1) 各级电压要求一样 (2) 衡量点为 PCC,取实测 95%概率值或日累计超标不许超过 72min,且每 30min 中超标不许超过 5min (3) 对测量方法和测量仪器作出基本规定 (4) 提供不平衡度算法																								
GB/T 15945 —2008	电能质量 电力系统 频率偏差	(1) 正常允许 $\pm 0.2\text{Hz}$,根据系统容量(界限为 3000MW)较小时可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ (2) 用户冲击引起的频率变动一般不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$	对测量仪器提出基本要求 提供频率合格率的统计方法																								
GB/T 18481 —2001	电能质量 暂时过电 压和瞬态 过电压	(1) 系统工频过电压限值 <table><tr><th colspan="2">系统工频过电压限值</th></tr><tr><th>电压等级 /kV</th><th>过电压限值/(p. u.)</th></tr><tr><td>$U_m>252$ (Ⅰ)</td><td>1.3</td></tr><tr><td>$U_m>252$ (Ⅱ)</td><td>1.4</td></tr><tr><td>110 及 220</td><td>1.3</td></tr><tr><td>35~66</td><td>$\sqrt{3}$</td></tr><tr><td>3~10</td><td>$1.1\sqrt{3}$</td></tr></table> 注: ① U_m指工频峰值电压 ② $U_m>252$ (Ⅰ)和 $U_m>252$ (Ⅱ) 分别指线路断路器两侧变电站的线路电压 (2) 操作过电压限值 包括空载线路合闸、单相重合闸、成功的三相重合闸、非对称故障分闸及振荡解列过电压限值 <table><tr><th colspan="2">操作过电压限值</th></tr><tr><th>电压等级/kV</th><th>过电压限值/(p. u.)</th></tr><tr><td>500</td><td>2.0*</td></tr><tr><td>330</td><td>2.2*</td></tr><tr><td>110~252</td><td>3.0</td></tr></table> 注: * 表示该过电压为相对地统计操作过电压	系统工频过电压限值		电压等级 /kV	过电压限值/(p. u.)	$U_m>252$ (Ⅰ)	1.3	$U_m>252$ (Ⅱ)	1.4	110 及 220	1.3	35~66	$\sqrt{3}$	3~10	$1.1\sqrt{3}$	操作过电压限值		电压等级/kV	过电压限值/(p. u.)	500	2.0*	330	2.2*	110~252	3.0	(1) 暂时过电压包括工频过电压和谐振过电压。瞬态过电压包括操作过电压和雷击过电压 (2) 工频过电压 $1.0(\text{p. u.})=U_m/\sqrt{3}$ 。谐振过电压和操作过电压 $1.0(\text{p. u.})=\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$ (3) 除统计过电压(不小于该值的概率为 0.02)外,凡未说明的操作过电压限值均为最大操作过电压(不小于该值的概率为 0.0014) (4) 瞬态过电压还对空载线路分闸过电压、断路器开断并联补偿装置及变压器等过电压限值作出了规定
系统工频过电压限值																											
电压等级 /kV	过电压限值/(p. u.)																										
$U_m>252$ (Ⅰ)	1.3																										
$U_m>252$ (Ⅱ)	1.4																										
110 及 220	1.3																										
35~66	$\sqrt{3}$																										
3~10	$1.1\sqrt{3}$																										
操作过电压限值																											
电压等级/kV	过电压限值/(p. u.)																										
500	2.0*																										
330	2.2*																										
110~252	3.0																										

续表

标准编号	标准名称	允许限值	说 明																										
GB/T 30137 —2013	电能质量 电压暂降 与短时中 断	(1) 仪器准确度 A 级性能仪器：电压幅值测量误差不应超过公称 输入电压的±0.2%，持续时间测量误差不超过 1 个周期，相位跳变测量不超过 1° S 级性能仪器：电压幅值测量误差不应超过公称 输入电压的±1%，持续时间测量误差不超过 2 个周期 (2) 半导体加工设备的电压暂降抗扰力规范 电压暂降持续时间和承受值	(1) 定义了电压暂降与短时中 断的概念 (2) 推荐了电压暂降与短时中 断的评估指标及计算方法 (3) 提出了监测仪器的技术 要求																										
		<table><tr><th rowspan="2">持续时间 /s</th><th colspan="2">持续时间/周波</th><th rowspan="2">幅值/%</th></tr><tr><th>周波 60Hz</th><th>周波 50Hz</th></tr><tr><td><0.05</td><td><3</td><td><2.5</td><td>无规定</td></tr><tr><td>0.05~0.2</td><td>3~12</td><td>2.5~10</td><td>50%</td></tr><tr><td>0.2~0.5</td><td>12~30</td><td>10~25</td><td>70%</td></tr><tr><td>0.5~1.0</td><td>30~60</td><td>25~50</td><td>80%</td></tr><tr><td>>1.0</td><td>>60</td><td>>50</td><td>无规定</td></tr></table>	持续时间 /s	持续时间/周波		幅值/%	周波 60Hz	周波 50Hz	<0.05	<3	<2.5	无规定	0.05~0.2	3~12	2.5~10	50%	0.2~0.5	12~30	10~25	70%	0.5~1.0	30~60	25~50	80%	>1.0	>60	>50	无规定	
		持续时间 /s		持续时间/周波			幅值/%																						
			周波 60Hz	周波 50Hz																									
		<0.05	<3	<2.5	无规定																								
		0.05~0.2	3~12	2.5~10	50%																								
		0.2~0.5	12~30	10~25	70%																								
		0.5~1.0	30~60	25~50	80%																								
		>1.0	>60	>50	无规定																								

需要指出的是,从现有的国家标准可以看出,我国的电能质量标准体系还不完善。例如,有些指标已经是工业生产中急需提出的,但目前仍没有作出必要的规定,缺少相应的有关检测推荐方法和测量精度等的规定;有些指标的科学性和可操作性差,而且还缺少完整的技术指导、行业规程和导则。因此,建立完善的电能质量标准体系仍有大量的工作要做。

1.4.3 电力系统频率

国家标准《电能质量 电力系统频率偏差》(GB/T 15945—2008)规定以 50Hz 作为我国电力系统的标准频率(工频),并规定电力系统正常的频率标准为 (50 ± 0.2) Hz,当系统容量较小时,可放宽到 (50 ± 0.5) Hz。但《电能质量 电力系统频率偏差》(GB/T 15945—2008)中并没有说明系统容量大小的界限。全国供用电规则中规定了供电局供电频率的允许偏差:电网容量在 3000MW 及以上者为 0.2Hz,电网容量在 3000MW 以下者为 0.5Hz。实际运行中,我国各跨省电力系统频率的允许偏差都保持在 ± 0.1 Hz 范围内。因此,电网频率目前在电能质量中最有保障。

1.4.4 供电电压允许偏差

供电电压允许偏差是指电力系统各处的电压允许偏离其额定值的百分比。国家标准《电能质量 供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)中规定:35kV 及以上供电电压正、负偏差的绝对值之和不超过额定电压的 10%,20kV 及以下三相供电电压允许偏差为额定电压的