

电能质量问题对电力系统稳定性可靠性的影响分析

陈炎忠

深圳市宝睿能源发展有限公司, 广东 深圳 518000

摘要： 电能质量问题一直是电力系统运行中的一个重要问题, 对电力系统的稳定性和可靠性产生重大影响。本文对电能质量问题的定义和影响进行了分析, 并探讨了电能质量问题的原因和解决方法。最后, 本文提出了提高电力系统稳定性和可靠性的措施, 以保证电力系统的正常运行和供电质量。

关键词： 电能质量问题; 电力系统稳定性; 电力系统可靠性; 解决方法; 供电质量

Analysis Of The Influence Of Power Quality Problems On The Stability And Reliability Of Power System

Chen Yanzhong

Shenzhen Baorui Energy Development Co., LTD., Guangdong, Shenzhen 518000

Abstract： Power quality is always an important problem in the operation of power system, which has a significant impact on the stability and reliability of power system. In this paper, the definition and influence of power quality problems are analyzed, and the causes and solutions of power quality problems are discussed. Finally, this paper puts forward the measures to improve the stability and reliability of the power system to ensure the normal operation of the power system and the quality of power supply.

Keywords： power quality problem; power system stability; power system reliability; a solution; power supply quality

引言

电能质量问题是指在电力系统中, 电能的供应不能满足用户需求, 或者电能的供应对用户设备造成损害, 从而影响电力系统的稳定性与可靠性。电能质量问题通常包括电能供应的波动与闪烁、电压降低、电压不平衡、电压波动、电压谐波、电流谐波、短路、过电流、过电压等。

一、按照电能质量问题的表现形式分类

1. 电压质量问题

包括电压波动、电压降、电压不平衡等。

2. 电流质量问题

包括电流波动、电流谐波、短路、过电流等。

3. 功率质量问题

包括功率波动、功率缺额、过载等。

4. 轻微电能质量问题：对电力系统的影响较小, 通常不会对用户设备造成损害。

4. 中等电能质量问题

对电力系统的影响较大, 可能会对用户设备造成一定损害。

5. 严重电能质量问题

对电力系统的影响非常严重, 可能会对用户设备造成重大损害, 甚至导致电力系统崩溃。

二、电能质量问题的定义

(一) 电能质量问题的分类

1. 供电电压问题

供电电压是指电力系统中电压的稳定性、均方根和频率等方

面的问题。包括电压波动、电压闪络、电压、电压峰值等。

2. 供电频率问题

供电频率是指电力系统中电压频率的稳定性。包括频率偏差、频率波动、频率漂移等。

3. 电压谐波问题

电压谐波是指电力系统中存在谐波成分, 这些谐波成分会影响电力系统的运行和设备的使用寿命。常见的电压谐波包括电流谐波分量、电压谐波分量等。

4. 电流谐波问题：

电流谐波是指电力系统中存在谐波电流的问题。包括电流谐波、电压谐波等。

(二) 电力系统稳定性

1. 系统的惯性

系统的惯性指的是系统在受到扰动后, 恢复到稳定状态的速度。电力系统的惯性受到系统结构、参数和设备的制约。

2. 系统的阻尼

系统的阻尼是指系统在受到扰动后, 从扰动状态恢复到稳定状态的阻力。电力系统的阻尼主要受系统结构和设备的阻尼元件的影响。

3. 系统的增益

系统的增益是指系统从扰动状态恢复到稳定状态的放大倍

数。电力系统的增益受到系统结构和参数的影响。

（三）电力系统可靠性

1. 电能质量问题会导致电力系统的供电质量下降，影响电力系统的正常运行。电压、电流等参数的不稳定，以及电压波动、过电压、过电流等异常现象，都会对电力系统的运行造成影响，导致供电中断或者设备损坏。

2. 电能质量问题会对电力系统的稳定性产生影响。电压、电流等参数的不稳定，以及电压波动、过电压、过电流等异常现象，都会对电力系统的稳定性产生影响，导致电力系统运行不稳定，甚至引发事故。

3. 电能质量问题会对电力系统的运行造成长期的损害。电压、电流等参数的不稳定，以及电压波动、过电压、过电流等异常现象，都会对电力系统的设备造成损害，导致设备寿命缩短，甚至导致设备失效。

（四）稳定性与可靠性的关系

1. 稳定性

随着电力系统中可再生能源（RESs）的渗透率不断攀升，大量分布式储能系统接入电力系统，由于这些储能系统分布范围较广，且易受外界不可控因素影响，这对电力系统的稳定性产生了较大冲击。^[1]电力系统的稳定性是指系统在受到外部扰动或内部故障时，能够维持正常运行的能力。稳定性主要涉及系统的动态特性和静态特性，如系统的转速、频率等参数是否在正常范围内。

2. 可靠性

电力系统的可靠性是指系统在一定时间内，能够正常供应电能的能力。可靠性涉及电力系统的运行时间、故障率、故障恢复能力等方面。

3. 稳定性是可靠性的基础

一个稳定的电力系统，在受到外部扰动或内部故障时，能够更好地保持其运行状态，从而提高系统的可靠性。相反，不稳定系统在遇到故障时，可能导致更严重的后果，降低系统的可靠性。

4. 可靠性是稳定性的保障

电力系统就是这方面的一个典型。没有任何一种电源是完美的，没有任何一种发电形式有足够的竞争力与任何一种发电形式有足够的竞争力与适配程度，能够100%充分满足需求（再一次，电力消费者永远是对的，而不是稳定输出！）。^[2]电力系统的稳定性是实现可靠性的前提条件。如果系统稳定性较差，那么即使系统出现故障，也可能无法维持正常运行。因此，提高系统的稳定性是提高可靠性的关键。

5. 稳定性与可靠性相互影响

电力系统的稳定性和可靠性是相互影响的，二者相辅相成。提高稳定性可以提高可靠性，而提高可靠性也可以促进稳定性。在实际电力系统中，稳定性和可靠性的提高往往需要综合考虑系统的各种因素，如设备的性能、系统的结构、运行控制等。

三、电能质量问题对电力系统稳定性的影响分析

（一）电能质量问题对电力系统动态稳定的影响

1. 电压波动和闪络

电压波动和闪络是电能质量问题的常见表现形式，会对电力

系统的动态稳定性产生很大的影响。电压波动会导致电力系统运行状态发生改变，进而引起系统动态稳定性问题。闪络是指电容器、电感器等设备在电压过高时发生的击穿现象，会对电力系统的动态稳定性产生不利影响。

2. 电流谐波

电流谐波是指电流波形中除了基波成分外，还含有其他频率成分。电流谐波会对电力系统的动态稳定性产生很大的影响，因为谐波电流会引起系统电压和电流的波动，进而影响系统的稳定性。

（二）电能质量问题对电力系统静态稳定的影响

1. 电压稳定性

电力系统经过多年的运行与优化，已找到了影响系统频率、功率和电压稳定性的安全因素，比如发电机组的类型及新能源发电机组的渗透率、系统运行工况及控制策略、电网环境因素及接入强度。^[3]电压稳定性是指电力系统电压在正常范围内的波动程度。电能质量问题会引起电力系统电压的波动，进而影响系统的静态稳定性。

2. 频率稳定性

频率稳定性是指电力系统运行在正常频率范围内的能力。电能质量问题会引起电力系统频率的波动，进而影响系统的静态稳定性。

四、电能质量问题对电力系统暂态稳定性的影响

（一）暂态过电压

高压直流输电系统的换相失败、直流闭锁、近区交流短路故障等会导致送端电网暂态过电压，制约输电能力、威胁系统安全稳定运行。为此，首先梳理换相失败、直流闭锁、近区交流故障3种典型故障下直流送端电网暂态过电压产生机理的异同，明确暂态过电压的主要影响因素。^[4]

暂态过电压是指电力系统在暂态过程中出现的瞬间电压波动。暂态过电压会引起电力系统暂态稳定性问题，导致系统电压发生波动，进而影响系统的稳定性。

（二）暂态过电流

暂态过电流是指电力系统在暂态过程中出现的瞬间电流波动。暂态过电流会引起电力系统暂态稳定性问题，导致系统电流发生波动，进而影响系统的稳定性。

（三）电能质量问题的影响

1. 电压波动和闪烁

电压波动和闪烁是电能质量问题的常见表现形式，会导致电器设备损坏、电力系统保护装置误动作、电力系统运行不稳定等问题。

2. 电流谐波

电流谐波是指电流波形中存在除了基波以外的其他频率成分，这些成分会导致电力系统设备的损坏和运行不稳定。

3. 电压谐波

电压谐波是指电压波形中存在除了基波以外的其他频率成分，这些成分会导致电力系统设备的损坏和运行不稳定。

4. 噪声和干扰

电能质量问题还会导致电力系统设备运行时产生噪声和干扰，影响电力系统的运行性能和可靠性。

5. 电力系统保护装置的误动作

随着海量充电桩、分布式能源和新型储能设备等接入电网，电

能质量问题呈现了新的特点。对电能质量要求高的电力设备日益增多，现代化城市电网能够提供精细化、多样化的定制电力。^[6]

（四）电压波动与闪络对电力系统稳定性的影响

电压波动指的是电网电压有效值（方均根值）的一系列变动或连续的改变。^[9]电能质量问题对电力系统稳定性与可靠性的影响分析是一项重要的研究课题。在电力系统中，电压波动和闪络是两种常见的电能质量问题，会对电力系统的稳定性产生重要的影响。

闪络是指电力系统中由于电压或电流过高而导致的设备或线路局部放电的现象。闪络可能会导致电力系统设备的损坏和故障，进而对系统的稳定性产生影响。闪络对电力系统稳定性的影响取决于闪络的强度和发生频率，以及设备的安全性能和抗干扰能力。

（五）电能质量问题对电力系统可靠性的影响

由于科技与国民经济的迅速发展，人民生活水平日益改善，伴随着用电量增加的是对供电的电能质量标准也越来越高。现代供电系统中大量非线性负载的应用，使电能质量问题日益凸显。^[9]

电能质量问题是指电力系统中由于各种因素引起的电能参数（如电压、电流、频率等）偏离正常值，从而影响电力系统的稳定性、可靠性和电能供应的质量。在电力系统中，电能质量问题可能导致电力设备损坏、电力系统运行不稳定、供电中断等严重后果，因此对电力系统的可靠性和稳定性具有重要的影响。

电能质量问题对电力系统的稳定性产生影响。当电力系统中出现电能质量问题时，电压、电流等参数出现异常，导致电力系统中的保护装置动作，从而影响电力系统的稳定性。如果保护装置不能及时、准确地动作，将会导致电力系统的运行不稳定，甚至引起事故。

电能质量问题对电力系统的可靠性产生影响。当电力系统中出现电能质量问题时，设备的运行状态会发生变化，从而影响设备的可靠性。例如，当电压降低时，某些设备可能无法正常运行，甚至可能因为电压过低而损坏。另外，电能质量问题还可能导致电力系统的供电中断，从而影响电力系统的可靠性。

五、设备故障对电力系统可靠性的影响

（一）设备故障的类型及影响

1. 设备故障可能导致电力系统运行不稳定，影响电力供应的可靠性。
2. 设备故障可能导致电力系统的运行效率降低，从而影响经济性。
3. 设备故障可能导致电力系统的运行安全性降低，增加事故的风险。

（二）提高电力系统可靠性的建议和措施

1. 加强设备的日常管理和维护，及时发现和处理设备故障。
2. 提高设备的质量，减少设备故障的发生。
3. 加强人员培训，提高维护人员的技术水平和业务能力。
4. 完善设备故障的应急预案，提高应对设备故障的能力。

（三）供电中断对电力系统可靠性的影响

1. 电力系统稳定性受影响 2021—2022 年，全球发生了一系列电力系统可靠性事件。尤其是在欧洲天然气与电力价格暴涨的情况下，电力供给的安全性问题再次成为各国政府与社会关注的

焦点。^[10]当供电中断发生时，电力系统中的各种设备无法正常工作，可能会导致系统稳定性下降。例如，发电机可能因为失去负荷而出现反转，使得电力系统稳定性受到威胁。此外，供电中断还可能导致电网电压波动、电流过大等问题，进一步影响电力系统的稳定性。

2. 电力设备损坏

供电中断会导致电力设备在短时间内无法正常工作，可能会导致设备损坏。长时间供电中断会导致设备过热、过载等问题，从而影响设备的可靠性和使用寿命。此外，供电中断还可能导致设备故障，进一步影响电力系统的可靠性。

3. 供电中断对电网运行造成影响

供电中断可能会导致电网运行方式发生改变，进而对电网的运行造成影响。例如，供电中断可能会导致电网负荷下降，使得电网运行压力减小，但也可能导致电网运行方式发生改变，使得电网运行存在风险。

结束语

本文中深入探讨了电能质量问题对电力系统稳定性与可靠性的影响。通过分析电能质量的定义、影响因素以及评价方法，重点讨论了电能质量问题在我国电力系统中的应用与现状。从理论和实践两方面对电能质量问题对电力系统稳定性与可靠性的影响进行了深入剖析。理论部分主要基于电力系统稳定性与可靠性的数学模型，分析了电能质量问题对电力系统稳定性和可靠性的影响机制，实践部分通过实际案例分析，展示了电能质量问题对我国电力系统运行的影响。提出了应对电能质量问题的策略和建议，以期为我国电力系统的稳定性和可靠性提供有益的参考依据。

参考文献

- [1] 乔志杰, 马临超. 适用于电力系统稳定性提升的大规模储能控制策略研究 [J]. 高压电器, 2022, 58(12): 75-84+91. DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2022.12.012.
- [2] 张树伟. 电力系统可靠性、发电机组角色与逻辑谬误 [J]. 风能, 2022, (12): 12-14.
- [3] 金丽娜. 新型电力系统稳定性问题探讨 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(32): 146-149. DOI: 10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.32.038.
- [4] 林圣, 兰菲燕, 刘健等. 高压直流输电送端电网暂态过电压机理与抑制策略综述 [J]. 电力科学与技术学报, 2022, 37(06): 3-16. DOI: 10.19781/j.issn.1673-9140.2022.06.001.
- [5] 徐昌宝, 丁健, 潘成达等. 基于大数据深化分析的电能质量扰动辨识方法研究 [J]. 电网与清洁能源, 2022, 38(12): 33-40.
- [6] 郭强. 工业供电系统的电压波动与抑制策略分析 [J]. 集成电路应用, 2022, 39(08): 254-255. DOI: 10.19339/j.issn.1674-2583.2022.08.114.
- [7] 郭珂. 电力谐波对电能计量的影响研究 [D]. 山东理工大学, 2021. DOI: 10.27276/d.cnki.gsdgc.2021.000527.
- [8] 韩坤. 频率波动对电力线路保护的影响研究 [D]. 昆明理工大学, 2019. DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2019.002069.
- [9] 刘康康. 配电网电能质量综合评估方法研究 [D]. 贵州大学, 2022. DOI: 10.27047/d.cnki.ggudu.2022.001691.
- [10] 张树伟. 电力系统可靠性、发电机组角色与逻辑谬误 [J]. 风能, 2022, (12): 12-14.