

# Discussion on the Application of Reactive Power Compensation Technology in Factory Power Supply and Distribution Systems

Jiaxin Tian Shuxin Li Chongpeng Lv

Henan Shenma Nylon Chemical Co., Ltd., Pingdingshan, Henan, 467000, China

## Abstract

With the continuous development of industrial production, the stable operation of the factory power supply and distribution system is very important to ensure the production efficiency and equipment life. Reactive power, as one of the important indicators in the power system, directly affects the voltage stability and the power factor of the system. This paper introduces the causes of reactive power and the influence in the factory power supply and distribution system. The existence of reactive power leads to problems such as voltage fluctuation and line loss in the power system. Therefore, the power quality of the system can be effectively improved through the application of reactive power compensation technology. The paper provides a detailed analysis of the working principle of reactive power compensation technology and common compensation equipment. By optimizing power quality and improving power factor, factories can achieve effective energy utilization, reduce production costs, and provide strong support for the sustainable development of industrial production.

## Keywords

factory; power supply and distribution system; reactive power compensation technology

## 略谈工厂供配电系统中的无功补偿技术相关应用

田佳鑫 李姝欣 吕翀鹏

河南神马尼龙化工有限责任公司, 中国·河南 平顶山 467000

## 摘要

随着工业生产的不断发展, 工厂供配电系统的稳定运行对于保障生产效率和设备寿命至关重要。无功功率作为电力系统中的重要指标之一, 直接影响着电压的稳定性和系统的功率因数。论文介绍了工厂供配电系统中无功功率的产生原因和对系统的影响, 无功功率的存在导致电力系统中电压波动、线路损耗等问题, 因此, 通过无功补偿技术的应用, 可以有效改善系统的电能质量。论文详细分析了无功补偿技术的工作原理和常见的补偿设备, 通过优化电能质量, 提高功率因数, 工厂可以实现能源的有效利用, 降低生产成本, 为工业生产的可持续发展提供了有力的支持。

## 关键词

工厂; 供配电系统; 无功补偿技术

## 1 引言

随着工业化进程的推进和现代工厂对电能需求的不断增长, 工厂供配电系统的稳定运行成为保障生产连续性和设备可靠性的关键因素。在电力系统中, 无功功率的存在往往是导致电能浪费和系统不稳定的根本原因之一。因此, 深入研究和应用无功补偿技术, 以提高工厂供配电系统的效能和可靠性, 成为当今电力工程领域的重要课题。论文聚焦于工厂供配电系统中的无功补偿技术, 旨在全面探讨其相关应用及其对系统性能的影响。通过这一研究, 有望为工厂电力系统的优化运行和可持续发展提供实用的技术支持。

## 2 无功功率概念和来源

### 2.1 无功功率的定义

无功功率是电力系统中一个重要的概念, 它表示电流和电压之间的相位差所导致的功率。与有功功率不同, 无功功率并不直接执行有用的功率, 而是在电力系统中产生一种交流能量的往复流动。以交流电为例, 无功功率通过电压和电流的相位差引起电能 在电网中来回振荡。其单位通常是乏, 符号为 VAR (Volt-ampere Reactive)<sup>[1]</sup>。

### 2.2 无功功率在工厂电力系统中的产生原因

工厂电力系统中无功功率的产生主要源于电力设备和工艺过程。诸如电动机、电弧炉等非线性负载会导致电流和电压之间的相位差, 从而引发无功功率的产生。此外, 电力系统中的电感和电容元件也是无功功率的生成源, 它们在电流和电压之间存储和释放能量, 导致相位差引起的无功功率流动。

【作者简介】田佳鑫 (1996-), 男, 中国河南平顶山人, 本科, 助理工程师, 从事总变电站运行研究。

## 2.3 无功功率对电力系统的影响

无功功率的存在对电力系统产生多方面的影响，其中最为显著的是对电压稳定性的影响。无功功率流动引起电压波动，可能导致电力系统中电压过低或过高，从而影响设备的正常运行。此外，无功功率的存在还增加了线路损耗，降低了电能的传输效率。在极端情况下，无功功率过多可能导致系统失稳，甚至引发设备损坏或系统崩溃。

## 3 无功补偿技术基本原理

### 3.1 无功功率的补偿概念

在工厂供电系统中，无功功率的补偿是一项关键技术，旨在通过引入合适的设备和控制策略来抵消系统中产生的无功功率，以改善电能质量并提高系统性能。无功功率的补偿概念涉及在电力系统中引入一种能够产生或吸收无功功率的设备，以实现无功功率的平衡，维持电压稳定，降低谐波，提高功率因数等目标。无功补偿系统结构如图1所示。

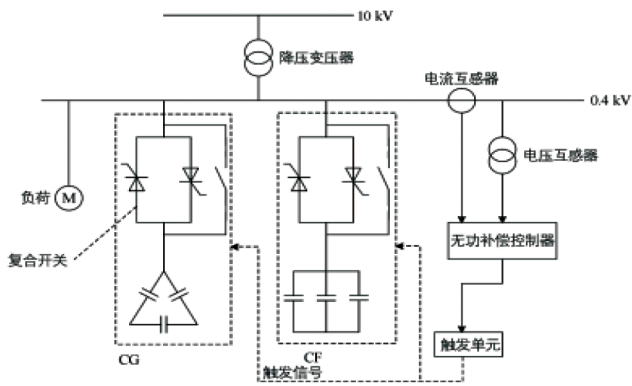


图1 无功补偿系统结构

### 3.2 无功补偿技术分类

#### 3.2.1 静态无功发生器（STATCOM）

静态无功发生器（STATCOM）是一种基于功率电子器件的无功补偿设备，其工作原理基于电流源逆变器。STATCOM通过实时调整其输出电流的相位和幅值，以响应系统中的电压波动，并提供可控的无功功率。这种设备能够迅速响应系统的变化，并在不同负载条件下提供灵活的无功功率支持，从而改善电能质量和维持电压稳定。

#### 3.2.2 静态无功补偿器（SVC）

静态无功补偿器（SVC）是另一种常见的无功补偿设备，采用可变电抗器（Thyristor-controlled Reactor, TCR）和电容器组合而成。SVC通过调整电容器的电容和电抗器的电感，以实现系统中的无功功率的即时补偿。与STATCOM相比，SVC的响应速度相对较慢，但在某些特定应用场景下，如电动机启动过程中的无功补偿，其性能优势仍然显著。

### 3.3 常见无功补偿设备的工作原理

#### 3.3.1 静态无功发生器（STATCOM）

STATCOM主要由逆变器和直流电压源组成。逆变器通过控制电压源的输出，生成可控的交流电流，与系统电

压同频且相位可调。逆变器的控制系统根据系统需要，实时调整输出电流的相位，以提供或吸收所需的无功功率。STATCOM的核心在于其高响应速度和精准的无功功率控制。

#### 3.3.2 静态无功补偿器（SVC）

SVC包括可变电抗器和电容器，其工作原理基于通过调整电抗器和电容器的连接状态来改变电路的等效电抗。通过控制电抗器的导通角度和电容器的电压，SVC可以调整电路的阻抗，实现对系统中无功功率的补偿。电抗器的导通角度决定了电感的大小，而电容器则通过存储和释放电能来实现对电路电感的补偿。

## 4 工厂供电系统中的应用案例

### 4.1 电弧炉中的无功补偿

电弧炉是一种广泛应用于冶金和金属加工行业的设备，它通过电弧将金属加热至高温以进行熔炼或其他加工过程。然而，电弧炉作为非线性负载，会在工厂电力系统中引起大量的无功功率。为了有效地抑制这种无功功率的产生，无功补偿技术得到了广泛的应用。在电弧炉的工作过程中，频繁的电弧闪烁和电流波动导致系统中无功功率的剧烈变化。通过引入无功补偿设备，如STATCOM或SVC，可以实时调整系统中的无功功率，使其与有功功率保持平衡。这样的补偿措施不仅稳定了电压，减少了电能损耗，还提高了电力系统的功率因数。电弧炉的无功功率补偿案例表明，通过精确的无功补偿技术，工厂能够更有效地利用电能，提高生产效率。

### 4.2 电动机启动过程中的应用

在工厂中，大功率电动机的启动过程通常伴随着瞬时的电流冲击和电压波动，这会导致系统中产生大量的无功功率。为了减轻电动机启动对电力系统的冲击，无功补偿技术也发挥了关键作用。通过在电动机启动过程中引入STATCOM或SVC等无功补偿设备，可以实时响应电流和电压的变化，迅速补偿系统中产生的无功功率。这种补偿手段有助于维持电压稳定，减少设备启动对电网的影响，同时提高系统的功率因数。电动机启动过程中的无功功率补偿案例突显了无功补偿技术在大型电机设备的应用潜力，为工业生产提供了更可靠的电力支持。

### 4.3 实际案例分析

#### 4.3.1 某金属加工厂的电力系统优化

考虑某金属加工厂的供电系统，该厂使用多台电弧炉进行金属熔炼。由于电弧炉的特性，系统中存在严重的无功功率波动和电压不稳定的问题。为了解决这一挑战，工程师们引入了STATCOM设备，通过实时监测电弧炉工作状态，及时调整STATCOM输出，补偿系统中产生的无功功率<sup>[2]</sup>。

在实施无功补偿技术后，电压波动显著减小，电能质量得到改善，电力系统的稳定性明显提升。同时，通过减少

无功功率的流动，系统中的线路损耗降低，电能利用率提高。这一实际案例表明，无功补偿技术在金属加工等高功率负载场景中的应用，对于提高系统性能和降低能耗具有显著效果。

#### 4.3.2 某制造厂的电动机启动优化

某大型制造厂在生产中使用了多台大功率电动机，电动机的同时启动导致系统中瞬时电流激增，引发电压下降和无功功率波动。为了解决这一问题，工程团队引入了 SVC 设备，通过在电动机启动瞬间提供即时的无功功率补偿。实施 SVC 后，电动机启动过程中的电流波动显著减小，系统中无功功率的快速调整使得电压保持在合适范围内。由此带来的系统稳定性提升和功率因数改善，降低了设备启动对整个供电系统的冲击。这一实际案例凸显了无功补偿技术在电动机启动场景中的有效应用，为工厂提供了更可靠的电力支持。

### 5 技术应用对系统性能的影响

#### 5.1 电能质量的改善

在工厂供配电系统中引入无功补偿技术对电能质量的改善具有显著的影响。无功功率的补偿可以有效地抑制电压波动和电流谐波，从而降低系统中的电能质量问题。电弧炉等非线性负载产生的谐波和波动电流会导致电压波动，对电网产生干扰，进而影响其他设备的正常运行。通过使用 STATCOM 或 SVC 等无功补偿设备，系统能够实时响应电能质量问题，迅速调整电流和电压的相位，减小电能波动。这样的改善不仅有助于减轻电网的负担，还提高了电力系统对负载变化的适应能力。电能质量的提升对于工业生产至关重要，可以有效减少设备的故障率，延长设备寿命，提高生产效率。供配电系统中无功补偿技术如图 2 所示。

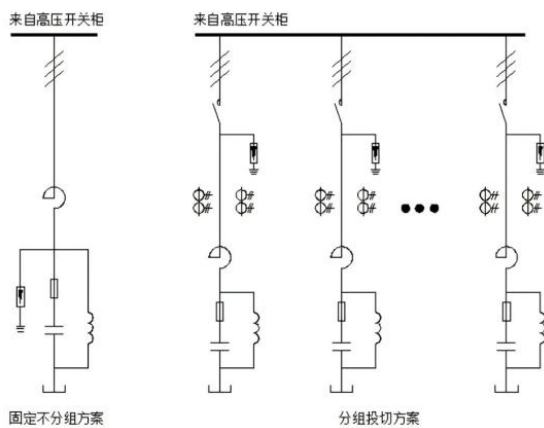


图 2 供配电系统中无功补偿技术

#### 5.2 功率因数的优化

无功补偿技术的应用对系统功率因数的优化起到关键作用。功率因数是衡量电力系统能效的重要指标，其优化不仅有助于提高电能利用效率，还能降低电网的线路损耗。在引入了无功补偿设备后，系统中的无功功率得到有效的补偿，使得功率因数得以提升。具体而言，通过调整无功补偿设备的工作状态，系统能够实现无功功率的平衡，减少无功功率在电网中的流动。这种平衡性的提高直接导致了功率因数的改善，优化后的功率因数不仅降低了电流和电压的相位差，减小了系统中的视在功率，还有助于提高电网的输电能力，减少线路和设备的额定容量要求。

#### 5.3 系统稳定性和可靠性的提升

引入无功补偿技术对工厂供配电系统的系统稳定性和可靠性提升起到关键作用。系统的稳定性直接关系到设备的正常运行和电网的安全稳定运行。通过减小电压波动、优化功率因数等手段，无功补偿技术有效地改善了系统的动态响应能力。在电动机启动等瞬时负载变化较大的情境中，无功补偿技术能够迅速响应，提供所需的无功功率，保持电压稳定。这种快速响应性有助于减缓系统的动态过程，降低了设备启动对电力系统的冲击<sup>[1]</sup>。此外，通过减少电能质量问题，无功补偿技术也降低了系统中设备的故障风险，提高了系统的可靠性。在实际案例中，金属加工厂和制造厂的系统稳定性和可靠性显著提升，通过优化电能质量和功率因数，电力系统能够更好地适应负载变化和设备的启停，为工业生产提供了更加稳定可靠的电力支持。

### 6 结语

综上所述，随着工业化和电力需求的不断增长，无功补偿技术在工厂供配电系统中的应用前景仍然广阔。未来的研究可以着重于提高无功补偿技术的智能化水平，使其能够更加自适应地应对复杂多变的工业生产环境。此外，结合新兴的能源科技，如可再生能源和电能存储技术，进一步完善无功补偿技术，实现对电力系统的全面优化。

#### 参考文献

[1] 颜志婷.工厂供配电系统中关于无功补偿技术的研究[J].电气传动自动化,2022,44(4):4.  
 [2] 谢澜.工厂供配电系统中的无功补偿技术探究[J].百科论坛电子杂志,2022,41(4):116-118.  
 [3] 柳杨.工厂供配电系统中的无功补偿技术探究[J].通信电源技术, 2020,37(11):3.